



DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UNA IMPRESORA 3D MODELO ROSTOCK

Proyecto Fin de Carrera

Ingeniería Técnica Industrial

Especialidad: Electrónica Industrial

Universidad Carlos III De Madrid

Autor: Miguel Ponce Antolín

Director: Raúl Pérula Martínez

Leganés, octubre de 2014

Título: Construcción y puesta en marcha de una impresora 3D modelo Rostock
Autor: Miguel Ponce Antolín
Director: Raúl Pérula Martínez

EL TRIBUNAL

Presidente: Pablo Marín Plaza

Vocal: Matías Braun

Secretario: Juan Miguel García Haro

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día 1 de octubre de 2014 en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

Agradecimientos

Agradezco a todas las personas que me han rodeado durante estos años por su apoyo, paciencia, interés y confianza. Ha sido un largo camino en el que he dado muchos rodeos hasta llegar a la parada final que es la entrega de este proyecto fin de carrera.

Gracias a mis compañeros de estudios por enseñarme la importancia de discutir los problemas en grupo Pablo, Sergio, Ricardo, Rubén, Jose, Javi, Rodrigo, etc. Gracias a todos los amigos que me han animado a seguir adelante. A la profesora Miriam Bueno, por animarme a no abandonar y finalizar este último paso para poder llevar en la maleta el título de Ingeniero Técnico Industrial.

Agradezco especialmente el incondicional apoyo de mi familia gracias al cuál ha sido posible llegar hasta aquí superando todos los obstáculos. Gracias.

Finalmente agradezco a Aroa su extraordinaria ayuda para lograr la consecución de este documento. En los peores momentos siempre ha sabido decirme las palabras necesarias para continuar con más fuerza.

Espero poder compensar a todos con el tiempo del que, hasta ahora, no he dispuesto.

Gracias.

Resumen

Proyecto dedicado a documentar la construcción de una máquina de prototipado rápido por deposición de material fundido o impresora 3D. El modelo construido, denominado como Rostock, es un ejemplo de máquina de cinemática paralela de bajo coste. Esta arquitectura permite alcanzar mayores aceleraciones y velocidades. Además, proporciona una mayor estabilidad al cabezal impresor y dobla la altura de impresión en comparación con las impresoras de bajo coste más difundidas.

Este documento presenta los recursos necesarios de los distintos tipos de máquinas que aplican este tipo de cinemática. Se ofrece también una guía para el montaje, la calibración y puesta en marcha presentando los componentes. Componentes no imprimibles y componentes imprimibles que forman esta impresora 3D. Las herramientas software necesarias también se muestran, dando la posibilidad de optar a utilizar cualquiera de la multitud de opciones disponibles.

El precio de este modelo se encuentra dentro del rango de impresoras 3D de bajo coste. Se ofrece una relación del coste de los componentes así como los proveedores de los mismos.

Igualmente se presentan los resultados obtenidos en varias pruebas de impresión que pueden servir como guía para iniciarse en la calibración de la fabricación de piezas tridimensionales.

La comparativa entre las otras impresoras 3D del parque de la Universidad Carlos III de Madrid permite observar las diferencias entre sus respectivas características técnicas.

Palabras clave:

Impresora 3D Rostock, RepRap, prototipado rápido, modelado por deposición fundida, máquina de cinemática paralela.

Abstract

Project documenting the construction process of a fast prototyping machine through deposition of molten material, or 3D printer. The model built, know as Rostock, is an example of low cost parallel kinematic machine. This architecture allows achieving higher accelerations and speeds. It also provides greater stability to the print head and doubles the maximum printing height provided by the more widespread low cost printers.

This document presents the resources needed by the different types of machines that used this kind of kinematic. It also provides a guide for the assembly, calibration and start up, which depicts the components, both printable and non-printable that form this 3D printer. The necessary software tools are also introduced, offering the different choices where available.

The price of this model is within the range of low cost 3D printers. A table with the cost and provider of each component is included.

This document also contains a study of the results obtained in test runs that is a good guide for beginners in the calibration for the fabrication process of three-dimensional pieces.

The last part is a comparison with the other 3D printer models available in University Carlos III de Madrid, which shows the differences among their different specifications.

Keywords:

Rostock 3D Printer, fused deposition modeling, RepRap, replication rapid prototyper, parallel kinematic machine,

Índice general

Índice general	xi
Índice de figuras	xv
Índice de tablas.....	xix
1 Introducción.....	21
2 Objetivos.....	25
2.1 Objetivo principal	26
2.2 Objetivos secundarios	26
3 Recursos	27
3.1 Recursos materiales.....	28
3.2 Recursos hardware	29
3.3 Recursos software.....	30
4 Estado del arte.....	31
4.1 Introducción	32
4.2 Proyectos en desarrollo	37
4.2.1 El proyecto Reprap.....	37
4.2.2 El proyecto Clone Wars.....	38
4.3 Impresoras basadas en MCP	39
4.3.1 RichRap y su Rostock 3D.....	39
4.3.2 Rostock MAX.....	41
4.3.3 Rostock Mini	42
4.3.4 Rostock Prisma.....	43
4.3.5 Cerberus	44
4.3.6 Kossel.....	46
5 Impresora 3D Rostock	49
5.1 Diseño	50
5.1.1 Recopilación de datos	50
5.1.2 Investigación sobre los componentes	50
5.1.3 Tiempos y tareas	52
5.2 Hardware.....	55
5.2.1 Adquisición de componentes	56
5.2.1.1 Componentes no imprimibles (vitaminas).....	56
5.2.1.2 Piezas impresas	78
5.2.2 Montaje de la estructura.....	87
5.2.2.1 Preparación de contrachapados	88
5.2.2.2 Preparación de varillas	90
5.2.2.3 Ensamblaje de varilla con extremos (<i>Mandíbula</i>).....	91
5.2.2.4 Preparación de barras lisas.....	92
5.2.2.5 Preparación de tornillería.....	93
5.2.2.6 Montaje de la base, la estructura superior y barras lisas	93
5.2.2.7 Montaje del conjunto móvil.....	106

5.2.2.8 Montaje del conjunto extrusor	117
5.2.2.9 Montaje de base calorífica	121
5.2.3 Montaje eléctrico	123
5.2.3.1 Motores	123
5.2.3.2 Sensores	124
5.2.3.3 Cableado de potencia	127
5.2.3.4 Controladores (<i>drivers</i>) motores	129
5.2.4 Calibración hardware	131
5.2.4.1 Calibración de los drivers de los motores	131
5.2.4.2 Calibración Z	132
5.2.4.3 Calibración X, Y	133
5.2.4.4 Extrusión	134
5.2.4.5 Plataforma de impresión	135
5.2.4.6 Finales de carrera	136
5.3 Software	137
5.3.1 Programas CAD	139
5.3.2 Programas CAM	140
5.3.2.1 Laminador	140
5.3.2.2 Programa de control de la impresora	141
5.3.2.3 Firmware	142
6 Presupuesto	149
6.1 Componentes imprimibles	150
6.2 Componentes no imprimibles (Vitaminas)	151
6.3 Presupuesto Total	157
7 Evaluación y resultados	159
7.1 Calibración de la impresión	160
7.1.1 Prueba 1	161
7.1.2 Prueba 2	162
7.1.3 Prueba 3	163
7.1.4 Prueba 4	164
7.1.5 Prueba 5	165
7.1.6 Prueba 6	166
7.1.7 Conclusiones	168
7.2 Límites de la impresora	168
7.2.1 Prueba límites XY	169
7.2.2 Prueba límite Z	170
7.2.3 Conclusión	171
7.3 Comparativa con otras impresoras del parque	173
8 Conclusiones	175
9 Futuras mejoras	179
Bibliografía	183
A Planos	191
A.1 Plataforma	193
A.2 Carro	195
A.3 Final rodamiento	197
A.4 Final motor	199
A.5 Final bowden	201
A.6 Mandíbula y junta	203
A.7 Porta bolígrafo	205
A.8 Cuerpo extrusor	207
A.9 Puntal y eje	209

A.10 Porta rodamiento	211
A.11 Corte contrachapado	213
A.12 Brida unión j-head con plataforma.....	215
B Datasheet (Hojas de características).....	217

Índice de figuras

Figura 1. “Prusa i3” de cinemática serial.	22
Figura 2. “Rostock” de cinemática paralela.....	22
Figura 3. Prototipo DELTA 580.	33
Figura 4. Robot Quattro (Adept).....	34
Figura 5. Helium Frog Delta.	36
Figura 6. Festo iFab.....	36
Figura 7. Impresora Rostock de RichRap.....	39
Figura 8. Pie impresora Rostock de RichRap.....	40
Figura 9. Instalación electrónica en base de Rostock RichRap.....	40
Figura 10. Rostock MAX.....	41
Figura 11. Máquina de corte por laser.....	41
Figura 12. Rostock mini.	42
Figura 13. Detalle Extrusor Rostock mini.	42
Figura 14. Plataforma Rostock mini.....	42
Figura 15. Base Rostock Prisma.....	43
Figura 16. Motor Rostock Prisma.	43
Figura 17. Carro Rostock Prisma.	43
Figura 18. Recorrido correa Rostock Prisma.	44
Figura 19. Diseño CAD Cerberus.	44
Figura 20. Pieza Base Cerberus.....	45
Figura 21. Correa Cerberus.	45
Figura 22. Rodamientos con goma.	45
Figura 23. Uniones varillas con imanes.....	45
Figura 24. Cerberus Pup.	46
Figura 25. Base modelo Kossel.	46
Figura 26. Autolevel Kossel.....	47
Figura 27. Kossel completa.....	48
Figura 28. Planos de corte para tablero de contrachapado.....	57
Figura 29. Pieza unión J-Head con Plataforma.	58
Figura 30. J-Head, componentes.....	58
Figura 31. Masilla térmica refractaria.	59
Figura 32. Barras lisas.....	60
Figura 33. Preparación varillas fibra de vidrio.	61
Figura 34. Rodamiento lineal LM8UU.....	61
Figura 35. Rodamiento radial 608ZZ.....	62
Figura 36. Mini rodamiento MR105ZZ.....	62
Figura 37. Correa dentada T2.5.	63
Figura 38. Polea T2.5.....	63

Figura 39. MK8 Engranaje impulsor.....	64
Figura 40. Arduino Mega 2560.	65
Figura 41. RAMPS 1.4.	66
Figura 42. Controladores motores paso a paso A4988.	67
Figura 43. Termistor NTC 100k.	67
Figura 44. Resistencia calorífica 6R8 2.5W.....	68
Figura 45. Base calorífica PCB.....	69
Figura 46. Esquema pulsador final de carrera.....	69
Figura 47. Motor NEMA17.....	70
Figura 48. Fuente alimentación 12V 30A.	71
Figura 49. Ventilador 12V.....	72
Figura 50. Cinta Kapton.....	74
Figura 51. Bobinas de plástico de impresión.....	74
Figura 52. Bridas.....	75
Figura 53. Cable Bowden PTFE.....	76
Figura 54. Cable Bowden PU.	76
Figura 55. Espejo (base de impresión).....	76
Figura 56. Impresión con la opción balsa (raft).	78
Figura 57. Piezas imprimibles para Rostock 3D.	79
Figura 58. Plataforma.....	80
Figura 59. Carro.	81
Figura 60. Final rodamiento.	82
Figura 61. Final motor.....	82
Figura 62. Final Bowden.	83
Figura 63. Junta.	84
Figura 64. Final varilla o Mandíbula.	84
Figura 65. Porta bolígrafo.....	85
Figura 66. Conjunto de piezas del Airtripper Extruder.	85
Figura 67. Cuerpo extrusor.....	86
Figura 68. Eje.....	86
Figura 69. Puntal.....	87
Figura 70. Porta rodamiento.	87
Figura 71. Marcado de contrachapado.....	88
Figura 72 Detalles planos de cortes contrachapados.....	89
Figura 73. Ensamblaje de varilla con Mandíbula.....	90
Figura 74. Detalle del plano de la pieza Mandíbula.....	91
Figura 75. Útil para longitud de varillas.....	91
Figura 76. Rectificación medida de la varilla.....	92
Figura 77. Varillas ajustadas en longitud.	92
Figura 78. Preparación de barras lisas.....	93
Figura 79. Componentes Paso 1.....	94
Figura 80. Posicionar tornillo fijador.	94
Figura 81. Polea en eje motor.....	94
Figura 82. Polea fija en motor.	94
Figura 83. Componentes Paso 2.....	95
Figura 84. Posicionar Final motor en motor.....	95
Figura 85. Fijar motor en Final motor.	95
Figura 86. Componentes Paso 3.....	96
Figura 87. Apoyo de contrachapado inferior en Final motor.	96

Figura 88. Fijado tornillos M4x30mm.	97
Figura 89. Fijado tornillos M4x25mm.	97
Figura 90. Componentes Paso 4.	98
Figura 91. Fijar interruptor fin carrera.	98
Figura 92. Método montaje rodamiento.	99
Figura 93. Montaje Final rodamiento completo.....	99
Figura 94. Componentes Paso 5.	100
Figura 95. Orientar Final rodamiento.	100
Figura 96. Roscado en Final rodamiento.	100
Figura 97. Final rodamiento fijado.	100
Figura 98. Vista 1 conjunto superior de la estructura.	101
Figura 99. Vista2 conjunto superior de la estructura.	101
Figura 100. Vista 3 conjunto superior de la estructura.....	101
Figura 101. Conjunto barras lisas con rodamientos lineales.	102
Figura 102. Preparación colocación conjunto superior.....	102
Figura 103. Componentes fijado inferior de barras.	103
Figura 104. Colocar tuercas en Final motor.	103
Figura 105. Apriete de tornillos para sujeción de barras.	103
Figura 106. Proceso de fijación inferior de barras completado.....	104
Figura 107. Componentes fijado superior barras.	104
Figura 108. Barras fijadas en Final rodamiento.....	104
Figura 109. Proceso de fijación superior de barras completado.	104
Figura 110. Refuerzos laterales de la estructura.	105
Figura 111. Ensamblaje de contrachapados laterales.....	105
Figura 112. Fijación de contrachapados con bridas.	106
Figura 113. Preparación Carro.	107
Figura 114. Componentes ensamble Carro con Junta.....	107
Figura 115. Colocación de tuercas en Carro.	107
Figura 116. Apriete de tornillos para colocación de Junta.....	108
Figura 117. Colocación Junta en Carro.	108
Figura 118. Ensamble Carro-Junta completado.....	108
Figura 119. Componentes ensamble Plataforma – Junta.....	109
Figura 120. Ensamblaje Plataforma-Junta completo.....	109
Figura 121. Componentes ensamble J-Head con Plataforma.	110
Figura 122. Colocación J-Head en Plataforma.....	111
Figura 123. J-Head ensamblado en Plataforma.	111
Figura 124. Presentación componentes de unión universal.	112
Figura 125. Primera unión completa.	112
Figura 126. Varillas listas para fijarlas en el Carro.	112
Figura 127. Unión de Mandíbulas y Juntas en Carro.....	113
Figura 128. Brazo formado entre Plataforma y Carro.	113
Figura 129. Conjunto móvil completamente ensamblado.	113
Figura 130. Detalle arandelas para eliminar holguras de las juntas.....	114
Figura 131. Instalación Carro en barras lisas.	114
Figura 132. Primer paso montaje correa.....	115
Figura 133. Paso de correa por polea sin tensión.....	115
Figura 134. Paso de correa por tornillo.	115
Figura 135. Paso de correa por el segundo hueco del Carro.	116
Figura 136. Tensado de la correa.	116

Figura 137. Correa tensada.....	116
Figura 138. Vista de polea tras tensado.....	116
Figura 139. Vista de Carro tras tensado.....	116
Figura 140. Componentes ensamblaje conjunto extrusor.	117
Figura 141. Colocación del rodamiento.....	118
Figura 142. Colocación de engranaje impulsor y mini rodamiento en motor.....	118
Figura 143. Motor extrusor.....	118
Figura 144. Cuerpo extrusor ensamblado.....	119
Figura 145. Conjunto extrusor completo. Vista 1.	119
Figura 146. Conjunto extrusor completo. Vista 2.	119
Figura 147. Fijar conjunto extrusor en estructura.	120
Figura 148. Conjunto extrusor fijado en la estructura.	120
Figura 149. Componentes para fijación de base calorífica.....	121
Figura 150. Punto de fijación de base calorífica.....	122
Figura 151. Detalle elementos de fijación de base calorífica.....	122
Figura 152. Base calorífica montada en la estructura.	122
Figura 153. Crimpado de cables. Pines y conectores.....	123
Figura 154. Empalmes motores-conectores.	124
Figura 155. Finales de carrera, conexión.....	124
Figura 156. Termistor de Hot Bed fijado.....	125
Figura 157. Primera instalación termistor Hot End.....	126
Figura 158. Segunda instalación termistor Hot End.	126
Figura 159. Conexiones de alimentación.	127
Figura 160. Soldaduras PCB.....	128
Figura 161. Conexión de resistencia calorífica.....	128
Figura 162. Soldar pines drivers motores.	129
Figura 163. Esquema de conexión RAMPS 1.4 para Rostock 3D.	130
Figura 164. Polaridad para el uso de LED base calorífica.....	130
Figura 165. Driver motor paso a paso G3D A4988.	131
Figura 166. Medición de la tensión entre REF y GND.....	131
Figura 167. Detalle vista lateral de Rostock 3D.	133
Figura 168. Detalle sección planta Rostock 3D.....	134
Figura 169. Calibración extrusor con calibre.	135
Figura 170. Esquema cadena de software.	138
Figura 171. Ejemplo OpenSCAD.	139
Figura 172. Resultado impresión prueba 1.....	162
Figura 173. Resultado prueba 2.....	163
Figura 174. Resultado prueba 3.....	164
Figura 175. Resultado prueba 4.....	165
Figura 176. Resultados prueba 5.....	166
Figura 177. Resultados prueba 6.....	167
Figura 178. Escalado de diseño 3D con software Cura.....	169
Figura 179. Símbolo autobot (179 x 174.5 x 6 mm) impreso.	170
Figura 180. Diseño 3D Empire State escalado con software Cura.....	171
Figura 181. Empire State Building (95.1 x 52.8 x 396.8 mm) impreso.	172

Índice de tablas

Tabla 1. Características Arduino Mega 2560.....	29
Tabla 2. Contrachapado. Lista componentes no imprimibles.	56
Tabla 3. Hot End. Lista de componentes no imprimibles.....	57
Tabla 4. Barras. Lista componentes no imprimibles.....	60
Tabla 5. Rodamientos. Lista de componentes no imprimibles.	61
Tabla 6. Poleas y correas. Lista de componentes no imprimibles.	63
Tabla 7. Electrónica. Lista de componentes no imprimibles.....	64
Tabla 8. Características resistencia calorífica.	68
Tabla 9. Cableado. Lista de componentes no imprimibles.....	72
Tabla 10. Fungibles. Lista de componentes no imprimibles.....	73
Tabla 11. Otros. Lista de componentes no imprimibles.....	75
Tabla 12. Muelles. Lista de componentes no imprimibles.....	77
Tabla 13. Tornillería. Lista de componentes no imprimibles.	77
Tabla 14. Datos coste material y energía.	150
Tabla 15. Coste impresión de componentes.....	151
Tabla 16 Presupuesto Contrachapado.....	151
Tabla 17 Presupuesto Hot End.....	152
Tabla 18 Presupuesto Barras.....	152
Tabla 19 Presupuesto Rodamientos.....	153
Tabla 20 Presupuesto Poleas y correas.....	153
Tabla 21 Presupuesto Electrónica y cableado.....	154
Tabla 22 Presupuesto Fungibles.....	154
Tabla 23 Presupuesto Otros.....	155
Tabla 24 Presupuesto Muelles.....	155
Tabla 25 Presupuesto Tornillería.....	156
Tabla 26 Presupuesto Gastos de envío.....	156
Tabla 27. Sub Total.	157
Tabla 28. Presupuesto Total Componentes No Imprimibles.....	157
Tabla 29. Presupuesto Final.....	157
Tabla 30. Configuración prueba 1.	161
Tabla 31. Configuración prueba 2.	162
Tabla 32. Configuración prueba 3.	163
Tabla 33. Configuración prueba 4.	164
Tabla 34. Configuración prueba 5.	165
Tabla 35. Configuración prueba 6.	166
Tabla 36. Comparativa impresoras 3D parque de la Universidad.....	173

Capítulo 1

Introducción

El presente proyecto surge de la necesidad de generar una documentación técnica que permita la construcción de una máquina de prototipado rápido o impresora 3D de **cinemática paralela** (ejemplo Figura 2). En la actualidad existe diversidad de documentos que permiten construir y poner en marcha las impresoras 3D de **cinemática serial** (ejemplo Figura 1) de bajo coste. De este modo es interesante tanto para la Asociación de Robótica de la Universidad Carlos III de Madrid, como para el Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, así como para el proyecto Clone Wars disponer de documentación técnica que pueda servir para replicar el diseño de este tipo de impresora 3D de forma barata y rápida.

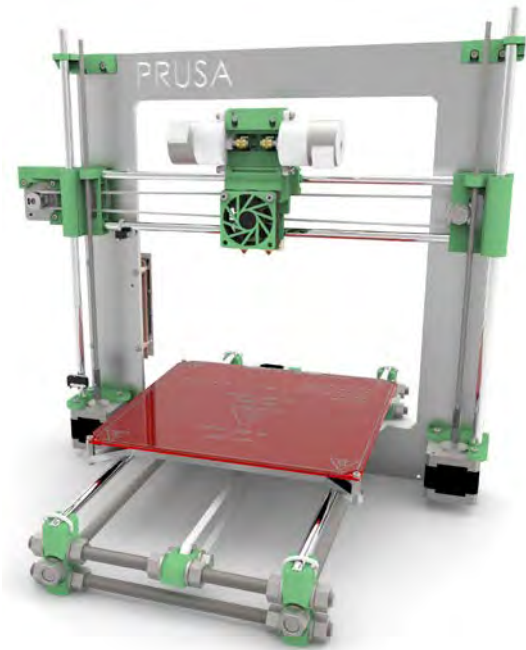


Figura 1. “Prusa i3” de cinemática serial.

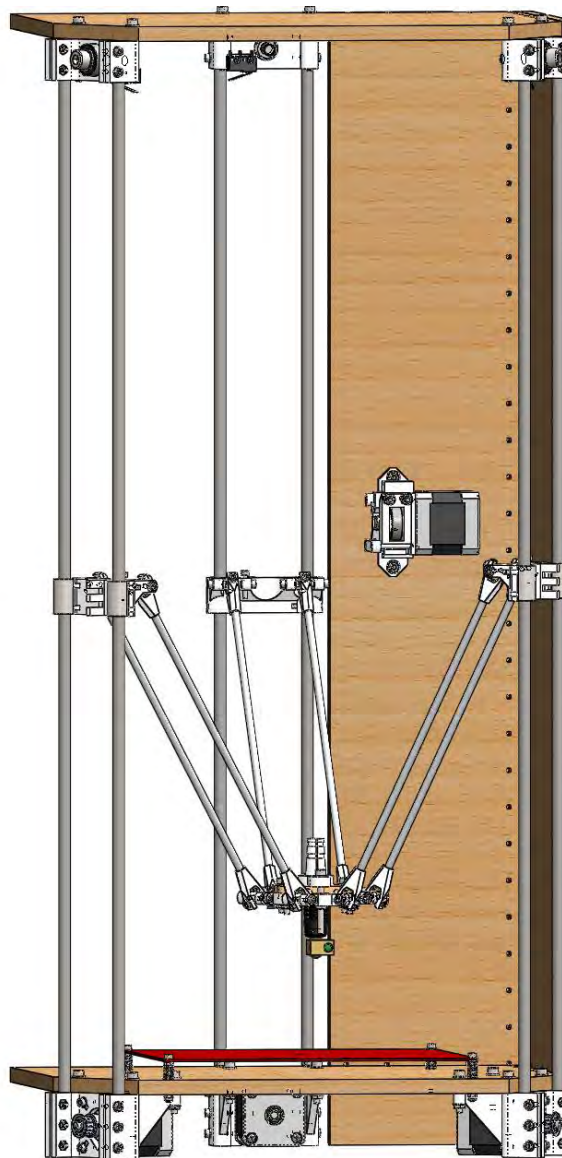


Figura 2. “Rostock” de cinemática paralela.

La impresora 3D elegida para la realización de este proyecto es un modelo Rostock originaria del proyecto RepRap. Es un prototipo de máquina de prototipado rápido de cinemática paralela o, también denominada, de tipo delta.

Diseñada por Johann C. Rocholl, alemán nacido en la localidad de Rostock y residente en Seattle (EEUU). Es Ingeniero Informático por la Universidad de Stuttgart y desarrolla su actividad profesional en la empresa Google como Ingeniero de fiabilidad [1]. Es una de las personas que actualiza el firmware Marlin que utilizan los microcontroladores de las placas que se montan en las impresoras 3D del proyecto RepRap.

Las principales motivaciones de realizar un montaje de este tipo de impresora 3D son las características diferenciales de esta impresora. El aumento de la altura de impresión, la gran velocidad de los movimientos en vacío, la calidad de acabados así como su sencillez de montaje, manejo y reparación. Sobre todo, resulta muy interesante la posibilidad de modificación de las dimensiones de la misma y, por supuesto, el bajo coste que supone fabricarla.

Se ha investigado sobre los componentes necesarios, tanto electrónicos como mecánicos, para la construcción de la impresora. Para realizar la comprobación de la calidad del diseño de los componentes imprimibles se fabricaron en las impresoras 3D de la Universidad. Se realizaron correcciones puntuales y reimpresiones de algunos de ellos que no cumplían su función como debían o no soportaban dimensionalmente la tornillería. Una vez obtenida una calidad aceptable en las piezas impresas se comenzó con un estudio sobre los proveedores de componentes priorizando la facilidad de adquisición dentro del entorno de la Universidad y teniendo en cuenta la lista de materiales recomendada por Johann C. Rocholl. Finalmente se ha efectuado la preparación del cableado de los componentes electrónicos y el montaje de la estructura para poder realizar la configuración del software de control, así como el calibrado y la puesta en funcionamiento.

La impresora construida en este proyecto está basada en la filosofía *Open Source* (licencia abierta). El proyecto RepRap fomenta el uso de la tecnología abierta y uno de sus modelos es este tipo de impresora 3D Rostock. Gracias a ello se puede encontrar información generada por multitud de usuarios que, con base en la licencia abierta, utilizan, modifican y aportan información para el perfeccionamiento y avance de la tecnología de impresión 3D de bajo coste.

Capítulo 2

Objetivos

2.1 Objetivo principal

El objetivo principal de este proyecto es construir una impresora 3D de cinemática paralela modelo Rostock y generar la documentación necesaria para que cualquier persona con un mínimo de cualificación técnica pueda construirla.

Implica aportar documentación y mejorar la existente:

- i. Creación de planos de piezas impresas y a fabricar.
- ii. Documentar el montaje, la calibración y puesta a punto.
- iii. Recopilar hojas de características de componentes electrónicos.

2.2 Objetivos secundarios

Los objetivos secundarios que se plantean para su consecución tienen que ver con el manejo de la información repartida en internet, la publicación de los resultados de este documento y finalmente proponer futuras mejoras.

Primero. Convertir el modelo Rostock en una impresora operativa.

- i. Afianzar el uso de la cinemática paralela.
- ii. Facilitar el manejo y montaje.
- iii. Que sea económica y de bajo coste.
- iv. Compartir el trabajo realizado con la comunidad *Open Source*.

Segundo. Realizar un estado del arte de este tipo de impresoras.

- i. Enumerar proyectos existentes.
- ii. Mostrar alternativas a componentes.
- iii. Exponer modelos en los que se basa y los que ha originado.

Tercero. Presentar resultados.

- i. Resultados obtenidos en piezas impresas.
- ii. Realizar comparativa con el parque de impresoras 3D de la Universidad.

Cuarto. Proponer futuras mejoras.

Capítulo 3

Recursos

3.1 Recursos materiales

Para la realización del montaje han sido necesarios los siguientes recursos materiales:

- Sierra para madera, se necesitará de un útil para guiarla en línea recta y poder rotarla con precisión.
- Sierra para metal.
- Taladro con guía vertical provisto de brocas para madera de 3 y 4 mm.
- Escuadra, cartabón y transportador de ángulos en caso de no disponer del componente imprimible Plantilla.
- Regla metálica de 300 mm.
- Metro extensible de 3m.
- Nivel.
- Limas.
- Papel de lija para madera.
- Juego de llaves Allen de, al menos, 1.5, 2, 2.5, 3, y 6 mm.
- Soldador y estaño.
- Multímetro.
- Juego de destornilladores.
- Tijeras.
- Pelacables.
- Alicates con punta estrecha y alargada.
- Cúter o bisturí de corte.
- Fundas termorretráctiles para cables de aproximadamente 0.5, 1 y 1.75mm.
- Pegamento. (Recomendado pegamento resistente a vibraciones que no sea líquido, como el usado en modelismo).
- Guantes ajustados de nitrilo para el uso de pegamento, soldado y montaje.

3.2 Recursos hardware

La construcción de la impresora precisará de los siguientes recursos mínimos de hardware.

- **Placa electrónica Arduino Mega 2560**

Placa electrónica donde se va a cargar el firmware que controlará el microcontrolador ATmega2560 que tiene instalado [2].

Microcontrolador	ATmega2560
Tensión Funcionamiento	5V
Tensión Entrada (recomendado)	7-12V
Tensión Entrada (límites)	6-20V
Pines I/O Digitales	54 (de los cuales 15 son módulos PWM)
Pines Entrada Analógica	16
Corriente DC Pin I/O	40 mA
Corriente DC Pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	256 KB de los cuales 8 KB usados para el gestor de arranque (<i>bootloader</i>)
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidad Reloj	16 MHz

Tabla 1. Características Arduino Mega 2560.

- **Placa electrónica RAMPS 1.4**

RepRap Arduino Mega Pololu Shield (RAMPS) [3], fue diseñada para poder conectar toda la electrónica que necesita una impresora RepRap a un bajo coste.

Ensamblada en la placa Arduino Mega 2560 permite conectar:

- Los controladores para motores paso a paso: 5.
 - Finales de carrera: 6.
 - Salidas de potencia (calentadores): 3.
 - Entradas control temperatura (termistores): 3.
 - Salidas para ventiladores: 1.
- **Motor paso a paso NEMA17**
 - 1,8°/paso.
 - 4800 g/cm.
 - Bifase.

- **Drivers A4988**
 - Microstep: 1/16.
- **CPU**
 - Procesador de doble núcleo @2,00 GHz.
 - 3 GB RAM.
 - Sistema operativo 32 bit.
 - Puerto USB.
- **Fuente de alimentación: 12V 30A**

3.3 Recursos software

Para la utilización de los recursos software manejados en este proyecto existe la posibilidad de hacerlo en cualquier sistema operativo (S.O.) de uso convencional. En general se trata de software libre soportado tanto por Windows como por Mac y por supuesto por los S.O. basados en Linux. En este caso se ha utilizado el S.O. Windows 7.

Los programas utilizados son los siguientes:

- *Arduino 1.0.5* para (*x86*). Para la edición y carga del firmware.
- *Slic3r 1.0.0* para (*x86*). Para realizar el laminado de la pieza 3D y generar las instrucciones necesarias para que se pueda imprimir capa tras capa hasta dar un volumen a la pieza.
- *Repetier Host v0.95* para (*x86*). Para controlar manualmente los movimientos y acciones sobre la impresora además de permitir la ejecución automática del código generado por los laminadores.
- *OpenSCAD 2014.03* para (*x86*). Software de tipo CAD para crear diseños de piezas por ordenador y convertirlos al formato STL.
- *Solidworks 2013 SP3* para (*x86*). Software de tipo CAD que se ha utilizado para redibujar las piezas impresas, realizar los planos e imágenes de ensamblajes. Este software es privado, no se puede ejecutar en los S.O. basados en Linux.

Capítulo 4

Estado del arte

4.1 Introducción

En la industria de la fabricación mecánica, tanto en el sector del metal como en el sector del prototipado rápido o impresión 3D, es posible diferenciar dos tipos de máquinas en función de la estructura cinemática: las **máquinas de cinemática serial** (MCS) y las **máquinas de cinemática paralela** (MCP).

La primera configuración de la estructura paralela se conoce como la plataforma de Gough-Steward que se ha aplicado principalmente en simuladores de vuelo desde 1957. En el sector del mecanizado del metal aparece la primera máquina herramienta¹ que utiliza esta estructura de cinemática paralela en la IMTS (*International Manufacturing Technology Show*) de Chicago en 1994.

La gran mayoría de las impresoras 3D por inyección de polímeros que se han fabricado hasta el momento son máquinas seriales. Son las más comunes en el sector del mecanizado del metal y también son denominadas “máquinas convencionales”. Se montan utilizando una arquitectura cartesiana. Los ejes se instalan en una distribución en serie, alineados con los ejes cartesianos X, Y, Z. Estas máquinas destacan por su sencillez en su fabricación y control. La parte negativa se encuentra en su dinamismo: cada accionamiento debe arrastrar el peso de los que le siguen. Normalmente son estructuras con grandes masas en movimiento, por lo que resulta problemático alcanzar altas velocidades y aceleraciones [4].

Las impresoras de cinemática serial tienen un diseño depurado y extendido resultando en una construcción sencilla. Sin embargo, las impresoras de cinemática paralela, como la que se desarrolla en este proyecto no se encuentran tan difundidas.

Las MCP utilizadas en la industria, generalmente, tienen unos actuadores fijos en la estructura, o que se mueven muy próximos a ella. En el caso particular de la impresora modelo Rostock, los actuadores activos que transmiten el movimiento se encuentran en los carros que se mueven en dirección vertical y que son accionados por los motores a través de las correas. A pesar de los actuadores de movimiento, la principal ventaja de la arquitectura paralela es que los ejes arrastran únicamente su propio peso. Todos los ejes conectan la estructura fija con el cabezal que se posicionará en el lugar deseado. Como resultado de ello, las dimensiones de los accionamientos serán menores, así como las masas en movimiento de la máquina.

¹ La máquina herramienta es un tipo de máquina que se utiliza para dar forma a piezas sólidas, principalmente metales. Su característica principal es su falta de movilidad, ya que suelen ser máquinas estacionarias. El moldeado de la pieza se realiza por la eliminación de una parte del material, que se puede realizar por arranque de viruta, estampado, corte o electroerosión. [88]

Otros factores positivos de las máquinas paralelas son las mayores aceleraciones que pueden alcanzar y el aumento de la rigidez de la máquina. El incremento de las aceleraciones es consecuencia de la disminución de las masas en la estructura móvil y también por el factor de multiplicación.

Este factor de multiplicación se puede explicar si se comparan la arquitectura serial y la paralela. Si ambos mecanismos tienen componentes idénticos en condiciones de longitudes, masas e inercias. La posibilidad de que una máquina alcance una elevada dinámica está directamente relacionada con el par (o la fuerza) que demande el desplazamiento. Entonces, el conjunto estará capacitado para obtener mayores aceleraciones para un par máximo disponible. La fuerza requerida para mover la estructura serial será superior a la fuerza requerida en la paralela. En consecuencia, si el mecanismo seleccionado es el mismo, las prestaciones dinámicas en la estructura paralela serán superiores.

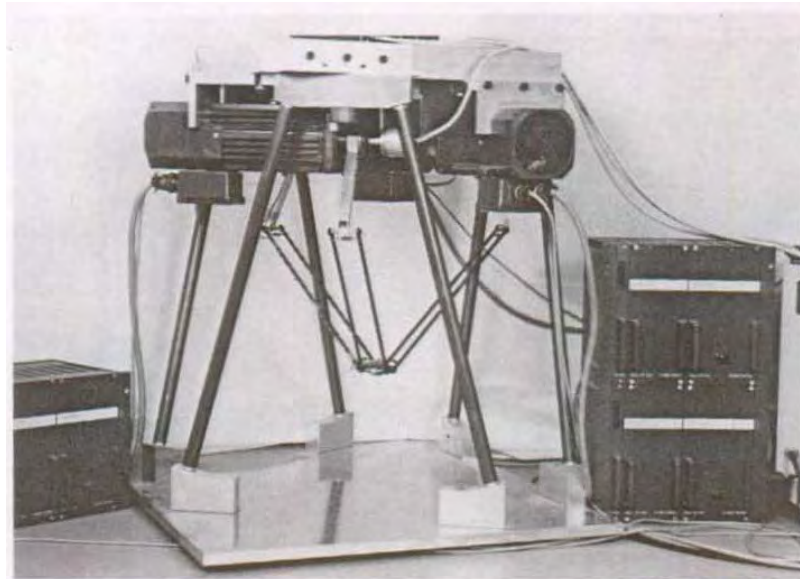


Figura 3. Prototipo DELTA 580.

En relación a la rigidez que ofrecen ambos tipos de estructuras, la que ofrecen las MCP se considera superior a la de las máquinas convencionales. En el caso de las impresoras 3D el cabezal que alberga la punta caliente no soporta ninguna fuerza importante ya que no elimina material sino que lo deposita capa por capa. Además, al estructurarse los brazos que soportan el cabezal formando 120° entre sí, se obtiene el equilibrio de fuerzas que favorece el incremento en la rigidez de este tipo de máquinas. Las MCP aumentan la relación entre masa y rigidez en comparación con las MCS. Es factible conseguir la misma rigidez que con una arquitectura cartesiana con una importante disminución de la masa móvil e, incluso, incrementar la rigidez notablemente. La alta rigidez que presentan se convierte en mayores precisiones respecto a una MCS [5].

Una importante aplicación de las estructuras de cinemática paralela es en el campo de la robótica, destacando su empleo en operaciones de manipulación. El

robot Delta (Figura 3), inventado por Clavel en 1986 en Suiza, fue el primer robot asignado a esta clase de funciones [6]. Esta máquina desplaza una plataforma en las tres dimensiones del espacio y tiene una masa móvil muy ligera.

Este tipo de robots pueden alcanzar altas prestaciones dinámicas. Los actuadores fijos se asientan en la estructura base y la plataforma móvil está unida con la plataforma fija mediante un conjunto de brazos. En la industria estos robots pueden alcanzar aceleraciones de $10G^2$, mientras que un robot serie de dimensiones equivalentes puede conseguir aceleraciones de $2G$.

Debido a la necesidad de lograr aceleraciones mayores para las tareas de manipulación. Se ha desarrollado un nuevo equipo paralelo conjuntamente por el Lirmm (laboratorio Francés de robótica y microelectrónica de la Universidad de Montpellier) y Fatronik-Tecnalia (Figura 4). Fue patentado en 2005 y Adept posee la licencia de venta exclusiva.

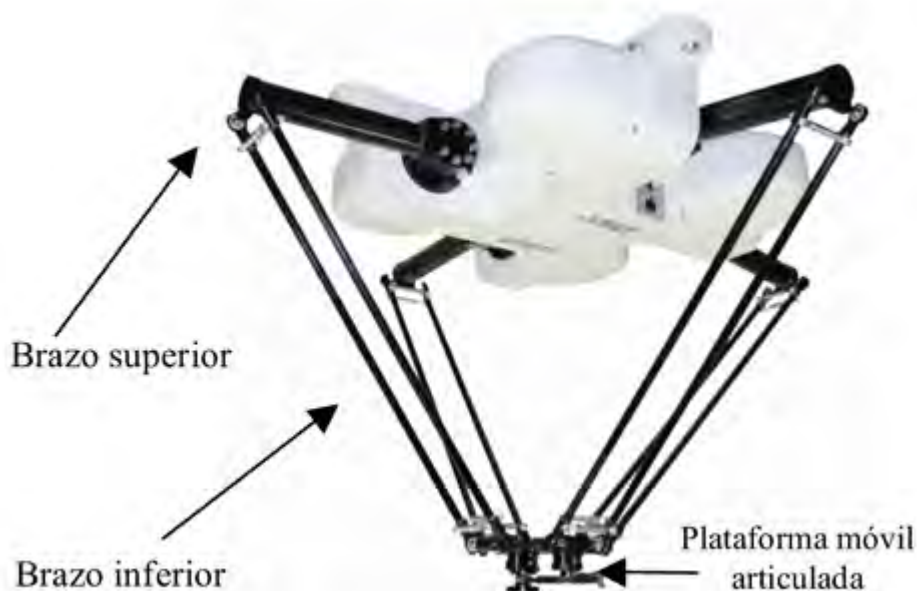


Figura 4. Robot Quattro (Adept).

² La fuerza G no es una medida de fuerza sino una medida intuitiva de aceleración. Está basada en la aceleración que produciría la gravedad terrestre en un objeto cualquiera en condiciones ideales (sin atmósfera u otro rozamiento). Una aceleración de $1G$ es generalmente considerado como igual a la gravedad estándar, que es de 9.80665 metros por segundo cuadrado (m/s^2).

La fuerza G para un objeto es de $0G$ en cualquier ambiente sin gravedad, como una caída libre o un satélite orbitando la Tierra y de $1G$ a cualquier objeto estacionario en la superficie de la Tierra al nivel del mar. Aparte de esto, las fuerzas G pueden ser mayores a 1 , como en una montaña rusa, en una centrifugadora o en un cohete.

La medición de las fuerzas G se hace por medio de un acelerómetro.

A modo de ejemplo, el viraje máximo normal en un avión acrobático o un jet de combate produce $9G$.

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Fuerza_G

Denominado con el nombre de Quattro [7], evita el uso de una cadena cinemática externa. Está formado por cuatro cadenas idénticas, en lugar de las tres cadenas cinemáticas del Delta, que unen los motores y la plataforma articulada móvil. Se implementa con un movimiento de rotación de la plataforma de $\pm 200^\circ$. Aumenta la rigidez añadiendo una cuarta cadena cinemática haciendo posible obtener aceleraciones de 15G y cargando un peso de 2 Kg. Estos valores hacen posible realizar ciclos de 0.25s logrando una mayor producción.

La manipulación de alta precisión de elementos de pequeñas dimensiones es otro campo de aplicación para los robots de cinemática paralela, especialmente con plataformas de seis grados de libertad. En esta rama se sitúan el Paros, de Micos GmbH, el AC970-V de Acutronic o el Hexapod de Alio Industries.

Otras utilizaciones de robots de cinemática paralela son las operaciones de ensamblaje (Fanuc F-200 iB) y el doblado de tubos (Hexabend del Fraunhofer IWU).

En la actualidad las MCP se utilizan en procesos de mecanizado como el taladrado o el fresado en tres o cinco ejes. La productividad para el mismo nivel de precisión puede superar a las máquinas convencionales en algunos casos. De hecho para precisiones bajas (0.1 mm o menos) los robots paralelos aumentan la productividad a niveles inabordables con robots convencionales.

La impresora 3D del modelo Rostock es un tipo de robot delta de cinemática paralela. Los motores se sitúan en la estructura fija y desplazan, con la ayuda de correas y poleas, directamente los brazos que transmiten el movimiento a los carros. El posicionamiento del cabezal está controlado por el desplazamiento de los carros que actúan sobre las varillas que hacen las veces de los antebrazos de las máquinas Delta o Quattro presentadas previamente (Figura 3 y Figura 4 respectivamente). El extremo pasivo es donde se coloca el cabezal extrusor. El movimiento que realiza el cabezal en los tres ejes, por tanto, es el resultado de la combinación del movimiento de los tres motores.

Los robots en que se basó el creador de esta máquina, Johann C. Rocholl, fueron los siguientes:

- Robots de fábricas instalados en líneas de producción, Figura 4. Robot Quattro (Adept) ³.
- Diseño de HeliumFrog [8]. Este modelo transmite el movimiento a los carros a través de varillas roscadas (Figura 5) lo que resulta en un movimiento lento como desventaja pero tiene la ventaja de ofrecer una alta precisión en el posicionamiento.

³ Video del robot Adept Quattro trabajando.

Enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=0-Kpv-ZOcKY>

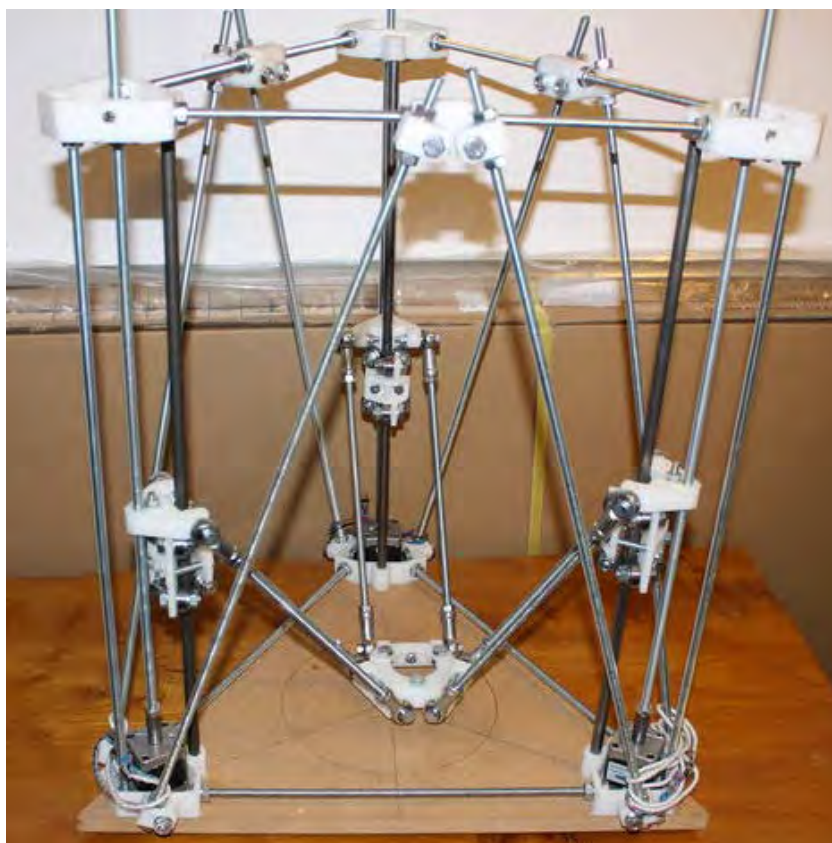


Figura 5. Helium Frog Delta.

- Diseños profesionales de empresas como la de Festo, iFab (Figura 6) [9].

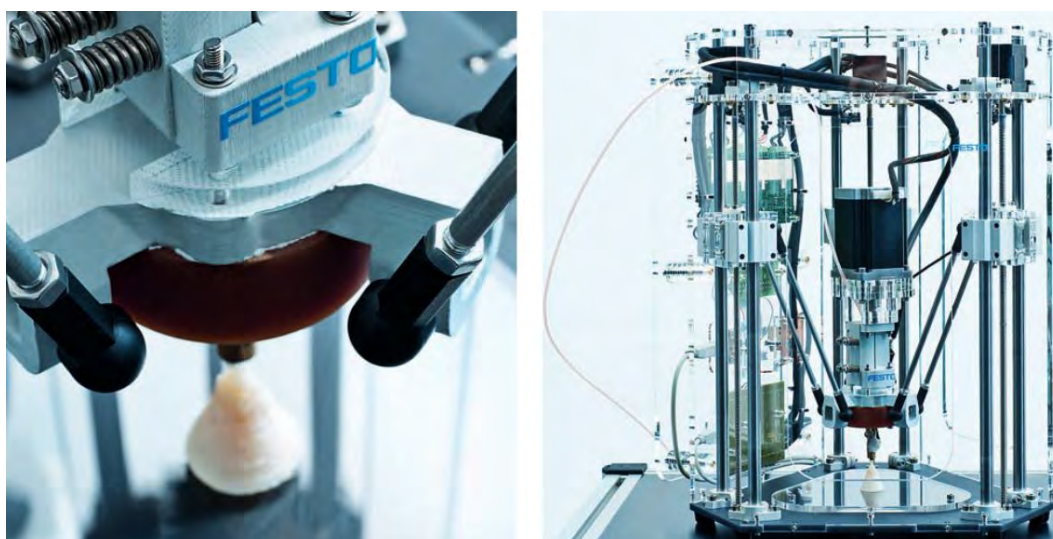


Figura 6. Festo iFab.

4.2 Proyectos en desarrollo

4.2.1 El proyecto Reprap

RepRap [10] (*Replicating Rapid prototyper*), prototipado de replicación rápida, es un proyecto iniciado en 2005 por Adrian Bowyer en Inglaterra y en el que actualmente colaboran personas en todo el mundo [11].

Una máquina RepRap puede fabricar objetos 3D físicos a partir de modelos generados por ordenador a base de impresión de polímeros.

RepRap está disponible bajo la licencia GNU GPL [12]. Esta licencia permite la copia, edición y distribución de su código fuente.

Objetivo de este proyecto fue desde el principio facilitar que la humanidad pueda disponer de una máquina que se replica a sí misma. Teniendo como lema: “*Impresoras 3D que se imprimen a sí mismas*”, desde la concepción del proyecto estuvo presente el principio de utilizar y crear tecnología libre.

Todos los componentes de una máquina RepRap serán capaces de ser impresos. Como consecuencia las máquinas que se promocionan en RepRap tienen componentes de plástico creados por otras impresoras. Por el momento, no todos los componentes con los que se forman dichas máquinas pueden estar impresos, pero se van encontrando alternativas a cada vez más elementos.

RepRap, como proyecto de conocimiento abierto, fomenta la colaboración y promueve que cada impresora 3D imprima un kit de sí misma, un kit que cualquier otra persona pueda ensamblar por su cuenta si dispone del tiempo y los materiales.

De tal manera que sería posible que en cada casa o centro comunitario existiese una impresora RepRap. Sólo sería necesario descargar de internet el diseño apropiado, y la máquina lo construiría.

A nivel económico/social, RepRap plantea grandes cambios: menos fábricas, menos necesidad de transporte de bienes, menos necesidad de dinero, más autonomía, más desarrollos tecnológicos locales, etc.

En los años setenta acceder a un ordenador era exclusivo y limitado, ahora no lo es. Es así como RepRap plantea un nuevo modelo de fabricación para todos, una fábrica que puede hacer más fábricas. De la misma manera que gracias a internet y los ordenadores se puede acceder a cualquier información, con la colaboración de la máquina RepRap se puede obtener físicamente, en cualquier lugar del mundo, cualquier diseño 3D realizado en otra parte del mundo.

La evolución tecnológica que ha tenido el proyecto RepRap se puede observar en el blog de RepRap[13]. Este blog es la base para la difusión y creación de nuevos proyectos a nivel mundial. La publicación de noticias sobre avances tecnológicos

que puedan ayudar a evolucionar las máquinas RepRap ya sea en el ámbito del diseño, del tipo de material a extruir, de las materias primas a utilizar o en qué lugar del mundo hacerlo.

El proyecto RepRap cada vez tiene más máquinas, más mentes que están pensando en cómo mejorar las impresoras 3D de diseño libre y como prueba este documento que pretende dar un impulso a la rama Delta, máquinas de cinemática paralela, para que puedan evolucionar y surgir nuevos modelos desde la base de la impresora Rostock 3D.

4.2.2 El proyecto Clone Wars

El proyecto Clone Wars[14] es un proyecto iniciado en 2011 por Juan González Gómez a través de la Asociación de Robótica de la Universidad Carlos III de Madrid en el Estado Español.

“Clone Wars es un grupo dentro de la comunidad RepRap, que trata de documentar en español todo lo necesario para que puedas construir tu propia impresora 3D. Además recopilamos información como ubicación de comercios locales, miembros del grupo que tienen una impresora cerca de ti..., datos en general que te pueden ayudar con tu proyecto.

Cualquiera puede entrar a formar parte de esta comunidad. Esperamos que estas páginas te resulten útiles y que en seguida te unas a nuestra comunidad.”

La web Clone Wars se divide en varios apartados que tienen formato de wiki. La mayor fuente de información proviene de la lista de correo electrónico que en abril de 2014 contaba con casi 8500 temas y más de 2700 miembros.

El primer apartado del proyecto Clone Wars es un “Glosario” de términos utilizados para las impresoras 3D además de explicaciones sobre los componentes. Describe de manera docente los diferentes componentes que utilizan las impresoras resultando muy interesante no solo para iniciarse sino también como página de consulta ocasional para las personas que se puedan considerar aficionadas.

También se puede consultar los “Modelos de impresoras” que se pueden construir. Aparecen las “validadas”, como son, las Prusa Iteración 2, Prusa Iteración 3, su variante Single Plate y Power Code. Existen además otras muchas en “construcción”, como es, por ejemplo el modelo Rostock que se presenta en este proyecto y que a partir de ahora se convertirá en un modelo “validado”.

4.3 Impresoras basadas en MCP

Han sido muchas personas las que han puesto en marcha diversas ramas de desarrollo de las impresoras del modelo Rostock 3D o robots inspirados por este diseño.

4.3.1 RichRap y su Rostock 3D

En el blog de RichRap [15] se puede encontrar una breve guía, en inglés, para montar una impresora de este tipo con muchas imágenes y comentarios. Además de mejoras, consejos o investigaciones del autor como, por ejemplo, el extrusor triple. Este extrusor utiliza tres motores con sus respectivos filamentos, cada filamento es de uno de los colores básicos. El autor muestra cómo configurando el firmware se consigue, con la fusión de las proporciones adecuadas de los tres colores, imprimir en cualquier color.

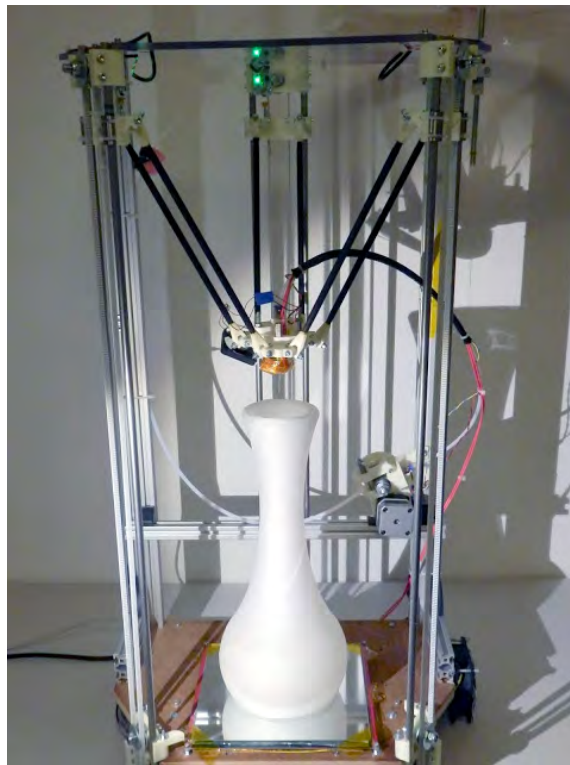


Figura 7. Impresora Rostock de RichRap.

La principal modificación estructural que RichRap ha introducido es la eliminación de las láminas verticales de contrachapado que ha sustituido por vigas de aluminio que refuerzan la estabilidad de la impresora y además le sirven para fijar el extrusor *Greg's extruder* modificado o un ventilador. Además, para dar espacio

en la parte inferior y poder fijar tanto la placa de control como la fuente de alimentación ha diseñado unas bases que instala debajo de los soportes de los motores ganando unos centímetros de altura y aumentando la estabilidad ya que ofrece una mayor superficie de apoyo.



Figura 8. Pie impresora Rostock de RichRap.

También muestra cómo ha hecho para colocar los componentes electrónicos, dispone de una fuente de alimentación que no tiene mucha altura y puede instalar sin problemas bajo la base de madera.

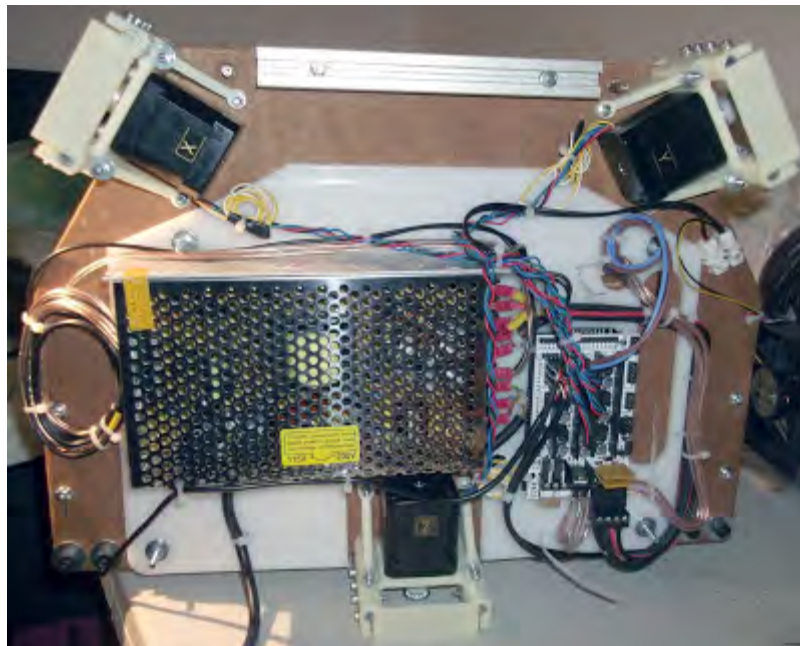


Figura 9. Instalación electrónica en base de Rostock RichRap.

4.3.2 Rostock MAX

El equipo SeeMeCNC [16] desarrolla esta modificación de la impresora Rostock. Tras el diseño y la construcción de la Rostock MAX (Figura 10) [17] realizaron una campaña de captación de fondos con la que recaudaron más de 77.000\$ [18].



Figura 10. Rostock MAX.

Mejoraron la estructura completamente, realizando los cortes de los componentes por laser, logrando una precisión máxima en los ajustes de todas las piezas. Esta impresora ajusta las medidas a la décima de milímetro. Además rediseñaron la forma haciéndola visualmente más atractiva.



Figura 11. Máquina de corte por laser.

El precio de esta impresora completamente montada y enviada a los Estados Unidos de América fue de \$1500.

4.3.3 Rostock Mini

La impresora Rostock Mini [19] es una versión de tamaño reducido de la Rostock, tiene unas dimensiones de impresión de 18 cm de diámetro y una altura 25cm. Utiliza prácticamente los mismos componentes (Figura 12).

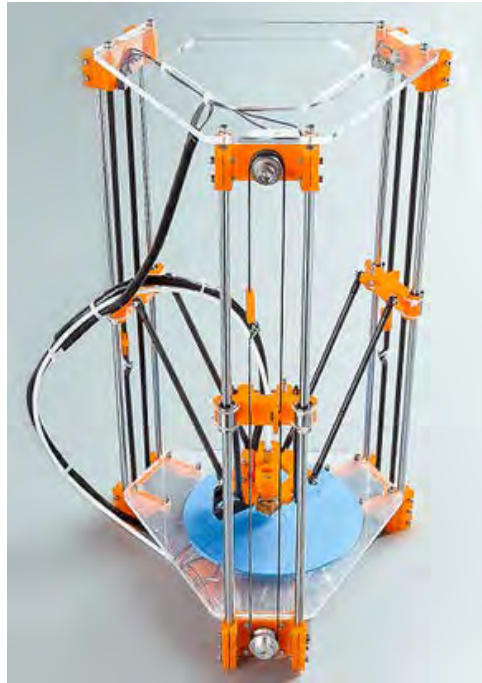


Figura 12. Rostock mini.

Los componentes modificados son el extrusor (Figura 13) y las juntas cardan (Figura 14) que no son imprimibles pero ofrecen un ajuste muy preciso ayudando a la calidad de la impresión. El precio de venta, con envío gratuito desde Hong Kong, es de \$559 [20].



Figura 13. Detalle Extrusor Rostock mini.



Figura 14. Plataforma Rostock mini.

4.3.4 Rostock Prisma

En esta variación denominada Rostock Prisma se realizan varias modificaciones del prototipo Rostock de Johann C. Rocholl. Rediseña las piezas con OpenSCAD habiendo tomado como referencia también el modelo Rostock MAX.

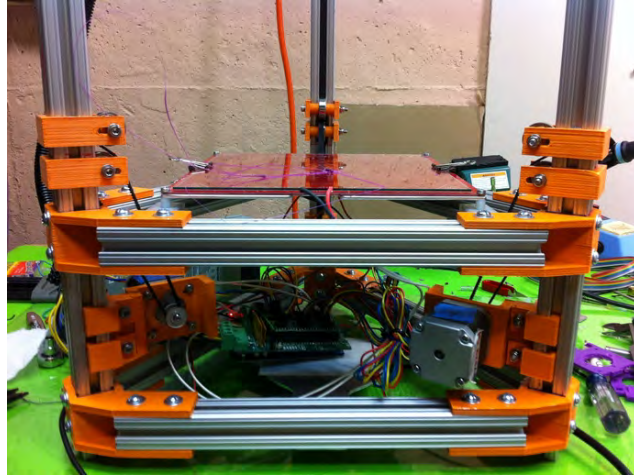


Figura 15. Base Rostock Prisma.

Utiliza vigas de aluminio para la estructura y resulta similar al modelo Kossel por el posicionamiento de los motores (Figura 16) y la modificación que realiza en el modo en que deslizan los carros (Figura 17 y Figura 18) que mueven los motores.

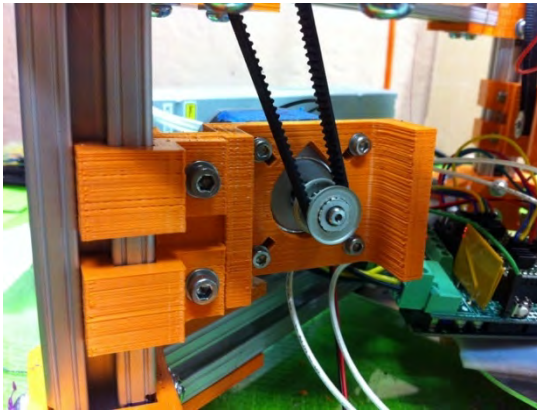


Figura 16. Motor Rostock Prisma.



Figura 17. Carro Rostock Prisma.

En el sitio web [21] que se presenta esta impresora, el autor Jorge Rodríguez expone cómo ha llegado a este diseño, enlaces a los proveedores donde ha encontrado los componentes, detalles sobre su fabricación y los enlaces a las piezas imprimibles que utiliza.

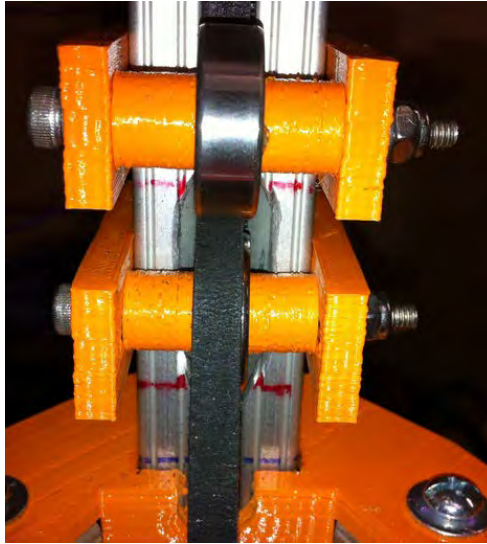


Figura 18. Recorrido correa Rostock Prisma.

4.3.5 Cerberus

El modelo Cerberus [22] presenta muchas modificaciones. Rediseña todos los componentes estructurales del prototipo Rostock aplicando ingeniosos diseños (Figura 19). Sustituye la utilización del contrachapado con piezas impresas que se ensamblan en el centro de la impresora (Figura 20) lo que supone un paso en el sentido de hacer una impresora autorreplicable.

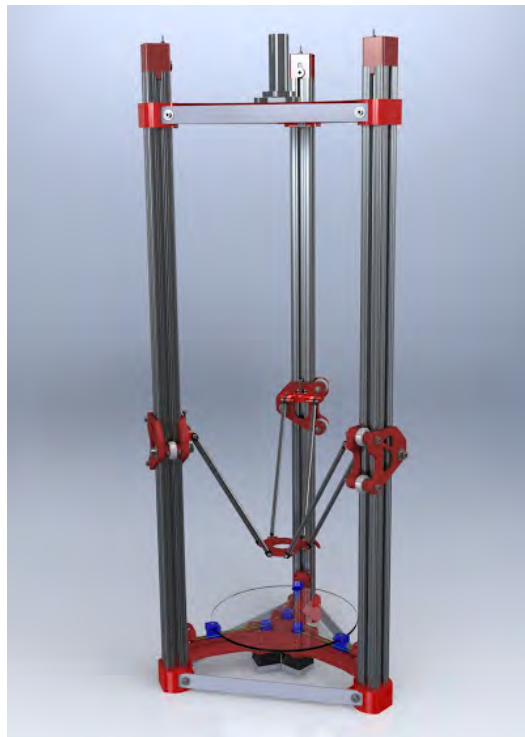


Figura 19. Diseño CAD Cerberus.

Este diseño permite colocar los motores en la zona central y colocar las tres torres a 120° entre sí (Figura 21). Al realizar una pieza que ensamblándose consigo misma logre esta separación angular entre las torres se elimina la necesidad de realizar cortes y taladros en madera de forma que se eliminan las posibilidades de error al utilizar herramientas simples como pueden ser una sierra o un taladro sin guías.



Figura 20. Pieza Base Cerberus.



Figura 21. Correa Cerberus.

Elimina ruidos recubriendo con goma (Figura 22) los rodamientos que hacen que los carros deslicen por las vigas de aluminio. También cambia un elemento de coste elevado y relativamente complicado de adquirir como son las correas dentadas de pequeñas dimensiones. Las sustituye por cordel (Figura 21) y enganches que normalmente son utilizados para pescar que son fáciles de adquirir, resistentes y de bajo coste.



Figura 22. Rodamientos con goma.

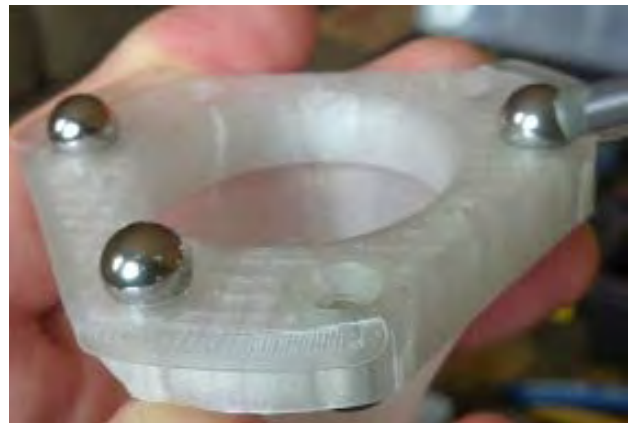


Figura 23. Uniones varillas con imanes.

El autor, Steve Graber, tiene colgado en su perfil web [23] 213 imágenes en las que se puede intuir perfectamente cada detalle de la fabricación de su impresora. Al menos ha construido tres impresoras similares, se muestra una de ellas en la Figura 24. Una interesante modificación que ofrece en una de ellas es la sustitución de las juntas cardan por imanes (Figura 23) que contactan con esferas metálicas

alojadas en los extremos de las varillas con lo que consigue una precisión máxima reduciendo elementos y deterioros por desgaste.



Figura 24. Cerberus Pup.

4.3.6 Kossel

Kossel (Figura 27) [24] es el nuevo diseño de Johann C. Rocholl que mejora las desventajas del primer prototipo Rostock 3D Printer. El lanzamiento de esta impresora la realizó en asociación con Terence Tam y fue coligada al lanzamiento de una campaña de captación de fondos [25] con la que recaudaron \$122.000 que les ha permitido producir una gran cantidad de ellas.



Figura 25. Base modelo Kossel.

Corrige los principales problemas de su predecesora Rostock como son los carros, las juntas cardan y el uso de madera (Figura 25). Mejora la estabilidad, la precisión de los ajustes y la imagen logrando más velocidad y calidad.

Además incorpora un sistema de auto nivelación (Figura 26) del extrusor con la base. Consiste en la palpación de una serie de puntos por toda la superficie para adaptar la impresión a la posición de la base.

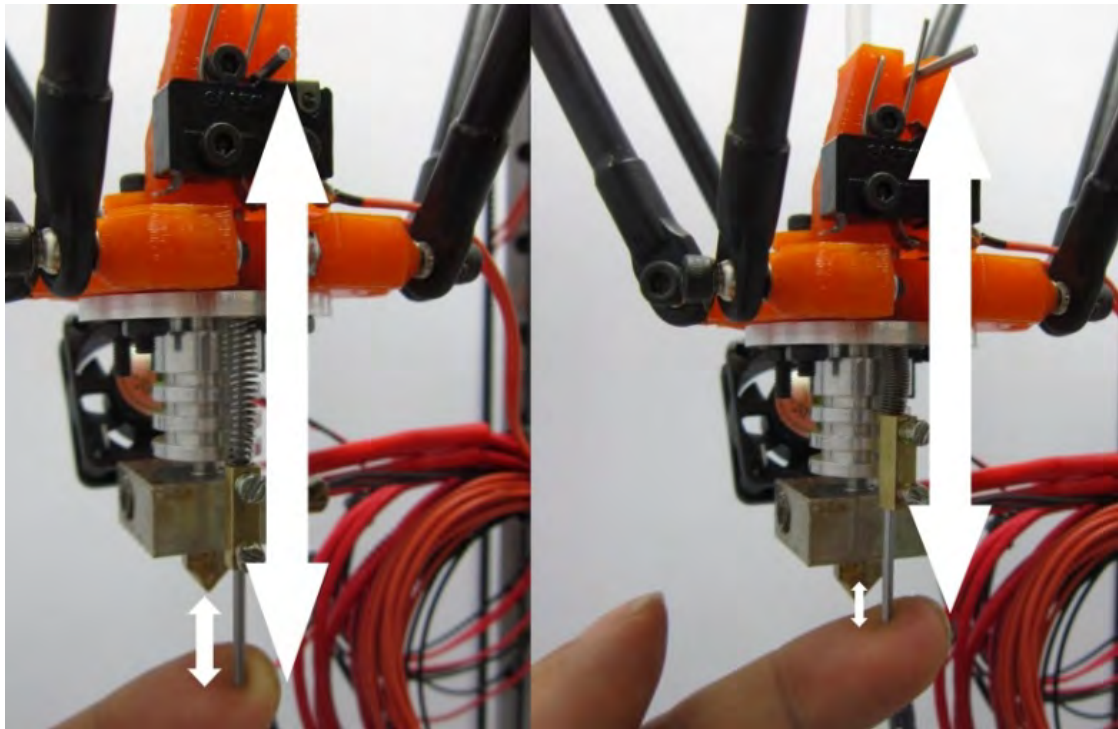


Figura 26. Autolevel Kossel.

En la Figura 27 se muestra la impresora 3D modelo Kossel completa. Las barras lisas han sido sustituidas por vigas extruidas de aluminio y sobre ellas se montan los carros. Estos nuevos carros presentan una mayor estabilidad y aumentan la rigidez de la plataforma asegurando el paralelismo de ésta con la base de impresión. Otra modificación que afecta a la precisión es el uso de las rótulas utilizadas generalmente en equipos de radiocontrol. Estas rótulas sustituyen a las juntas universales que forman en el modelo Rostock los elementos impresos *Junta* (Figura 63) y *Mandíbula* (Figura 64) que se presentarán en el próximo capítulo en el apartado Piezas impresas. Además, se elimina por completo el contrachapado que es muy sensible a los cambios de temperatura y humedad, así como, a la flexibilidad característica de la madera que genera fácilmente imprecisiones. También se introduce en este modelo Kossel la plataforma de impresión circular ajustándola a la estructura de este tipo de máquina de cinemática paralela.



Figura 27. Kossel completa.

Capítulo 5

Impresora 3D Rostock

A lo largo de este capítulo se desarrolla la memoria del trabajo que se ha realizado para lograr construir la impresora 3D modelo Rostock. Al encontrarse dentro de lo que se consideran impresoras de diseño abierto existen multitud de variantes en los diseños y soluciones utilizadas (apartado 4.3).

Esta sección se divide a su vez en tres apartados generales: diseño, hardware y software. En cada uno de ellos se presenta cada detalle de la impresora y se pretende que sirva de guía de referencia de montaje y de manejo. En los apartados generales se realizará la descripción de las acciones que se han llevado a cabo, de los errores que se han descubierto y de la información recopilada y generada.

5.1 Diseño

En este apartado se describe el trabajo realizado en base al objetivo de poner en funcionamiento el prototipo de impresora 3D Rostock. Así como de comprobar su funcionalidad realizando pruebas de la calidad y la velocidad que puede ofrecer. Por tanto, solamente se han llevado a cabo pequeñas modificaciones o se han cambiado elementos para que pudiera realizarse la puesta en marcha en base a los medios con los que se ha contado. En ningún caso se ha pretendido mejorar el diseño original o probar componentes alternativos a los que realizó Johann C. Rocholl.

5.1.1 Recopilación de datos

La recogida de datos de los componentes que forman parte de la impresora fue hecha en su mayoría por deducción de las fotografías del prototipo ya construido y de los archivos publicados en internet. A partir del sitio en internet sobre la impresora Rostock [26] alojado en la web de RepRap y los enlaces que contiene se pudo obtener suficiente información para poder comenzar el diseño y planificación para poder construirla. El diseño exacto en función de las fuentes mencionadas no es posible debido a que no se dispone de las dimensiones de las piezas como se explica más detalladamente en el apartado dedicado a las piezas impresas.

5.1.2 Investigación sobre los componentes

El proyecto del prototipo original se desarrolla en los E.E.U.U. Johann C. Rocholl realizó un trabajo muy importante para que otras personas pudieran hacer realidad su diseño logrando adquirir los componentes necesarios. Sin embargo, encontrar proveedores que pudieran distribuir en España resultó un trabajo com-

plicado. Con el tiempo han surgido puntos de venta en Europa y Asia que sustituyen a los norteamericanos pero que incrementan los costes de la impresora por gastos de envío. En la lista de materiales del autor del prototipo se extraen 7 proveedores y en el caso de este proyecto, realizando una intensa búsqueda en internet, se ha reducido a 8 el número de proveedores diferentes comprando una cantidad bastante elevada de productos a un mismo proveedor. Se debe destacar, aún así, que debido al auge de las impresoras del proyecto RepRap cada día que pasa aumenta el número de proveedores pero el núcleo del sector aún se encuentra localizado en los E.E.U.U. Si se quieren productos específicos se debe comprar a un mayor número de proveedores que el que se especifica anteriormente.

En definitiva existen varias opciones como son, por ejemplo, comprar kits que contengan la mayoría de los elementos en lugar de realizar la búsqueda de cada elemento consumiendo mucho tiempo; o escoger los mejores precios; así como la opción de buscar la mejor calidad; o intentar adquirirlos del menor número de vendedores posible. En el caso de este modelo de impresora es más complicado encontrar un kit que contenga todos los elementos que necesita. Como se ha comentado anteriormente, las impresoras convencionales están más extendidas y estos kits se realizan para ellas.

La mejor recomendación es que se tenga claro todos los componentes que se necesitan y en base a ello elegir la opción que más convenga reduciendo el tiempo y el número de proveedores al máximo. La ayuda que aquí se ofrece tiene la intención de facilitar esta tarea.

5.1.3 Tiempos y tareas

En este apartado presenta una aproximación del tiempo que llevaría realizar cada una de las tareas que son necesarias para completar la construcción y la puesta en marcha de la impresora 3D modelo Rostock. La fecha de inicio propuesta, como ejemplo, es desde el día 1 de enero de 2014.

Se indica a continuación la tarea a realizar, la duración (d: días, h: horas) que se ha estimado para su realización y la fecha de finalización de la misma. Se ha supuesto una jornada laboral de 8 horas durante 5 días a la semana, de lunes a viernes con una sola persona realizando las tareas.

1. Preparación		10-02-14
a. Recopilación de datos	Duración: 5d	07-01-14
b. Diseño	Duración: 5d	14-01-14
c. Lista de materiales	Duración: 3d	17-01-14
d. Archivos de impresión	Duración: 8h	10-02-14
2. Pedido Vitaminas		14-02-14
a. Comprar	Duración: 3d	22-01-14
b. Recepción de pedidos	Duración: 16d	14-02-14
3. Impresión Componentes		13-02-14
a. 3x Final motor	Duración: 10h	11-02-14
b. 3x Final Rodamiento	Duración: 6h	11-02-14
c. 3x Carros	Duración: 4.5h	12-02-14
d. Plataforma	Duración: 2.5h	12-02-14
e. 12x Juntas	Duración: 1h	12-02-14
f. 12x Mandíbula	Duración: 3h	12-02-14
g. Airtripper Extruder (4 piezas)	Duración: 3h	13-02-14
h. Porta Bolígrafo	Duración: 1.5h	13-02-14
i. Final Bowden	Duración: 1.5h	13-02-14
4. Montaje Estructura		18-02-14
a. Preparación contrachapados	Duración: 2h	14-02-14
b. Preparación varillas	Duración: 2h	14-02-14
c. Ensamblaje varillas- <i>mandíbulas</i>	Duración: 1h	17-02-14
d. Preparación barras lisas	Duración: 0.5h	17-02-14
e. Preparación tornillería	Duración: 0.5h	17-02-14
f. Montaje base madera	Duración: 1h	17-02-14
g. Montaje superior madera	Duración: 0.5h	17-02-14
h. Montaje de juntas	Duración: 1h	17-02-14
i. Montaje motores en base	Duración: 0.5h	17-02-14
j. Montaje rodamientos (poleas)	Duración: 0.5h	17-02-14
k. Montaje de correas	Duración: 1h	17-02-14

l. Montaje juntas cardan	Duración: 1h	17-02-14
m. Montaje maderas estructura	Duración: 1.5h	18-02-14
n. Montaje Airtripper Extruder	Duración: 1h	18-02-14
o. Colocación Airtripper en madera	Duración: 1h	18-02-14
5. Componentes Cableados		20-02-14
a. Crimpar cables motores	Duración: 1.5h	18-02-14
b. Crimpar finales carrera	Duración: 1.5h	18-02-14
c. Crimpar y soldar termistores	Duración: 1h	18-02-14
d. Fijar finales de carrera	Duración: 1.5h	19-02-14
e. Preparar cables potencia	Duración: 1.5h	19-02-14
f. Instalar componentes HotEnd	Duración: 2h	19-02-14
g. Aislado térmico cables	Duración: 1h	19-02-14
h. Instalación termistor Hot Bed	Duración: 0.5h	19-02-14
i. Colocar Hot Bed	Duración: 1h	19-02-14
j. Pegar Kapton en cristal	Duración: 1h	19-02-14
k. Colocar extrusor	Duración: 0.5h	19-02-14
l. Colocar Bowden en tuerca	Duración: 0.5h	19-02-14
m. Colocar Bowden con bridas	Duración: 0.5h	19-02-14
n. Calentar Hot End >100°C	Duración: 2h	20-02-14
6. Conexiones RAMPS 1.4		20-02-14
a. Esquema conexiones	Duración: 2.5h	20-02-14
7. Instalación Software		20-02-14
a. OpenSCAD	Duración: 0.5h	20-02-14
b. Repetier Host	Duración: 0.5h	20-02-14
c. Arduino	Duración: 0.5h	20-02-14
d. Configuración Slic3r	Duración: 2h	20-02-14
e. Configuración Skeinforge	Duración: 2h	20-02-14
8. Firmware		21-02-14
a. Modificación 'configuration.h'	Duración: 7h	21-02-14
b. Carga firmware	Duración: 4h	21-02-14
9. Calibración		25-02-14
a. Tensión Drivers Motores	Duración: 1h	24-02-14
b. Finales de Carrera	Duración: 1h	24-02-14
c. Paso Motores Torres	Duración: 2h	24-02-14
d. Paso Motor Extrusor	Duración: 2h	24-02-14
e. Hot Bed respecto a Hot End	Duración: 2h	24-02-14
f. Extrusión de plástico	Duración: 8h	25-02-14

Se ha realizado un diagrama de Gantt con estos datos del proceso de fabricación de la impresora y se muestra a continuación.

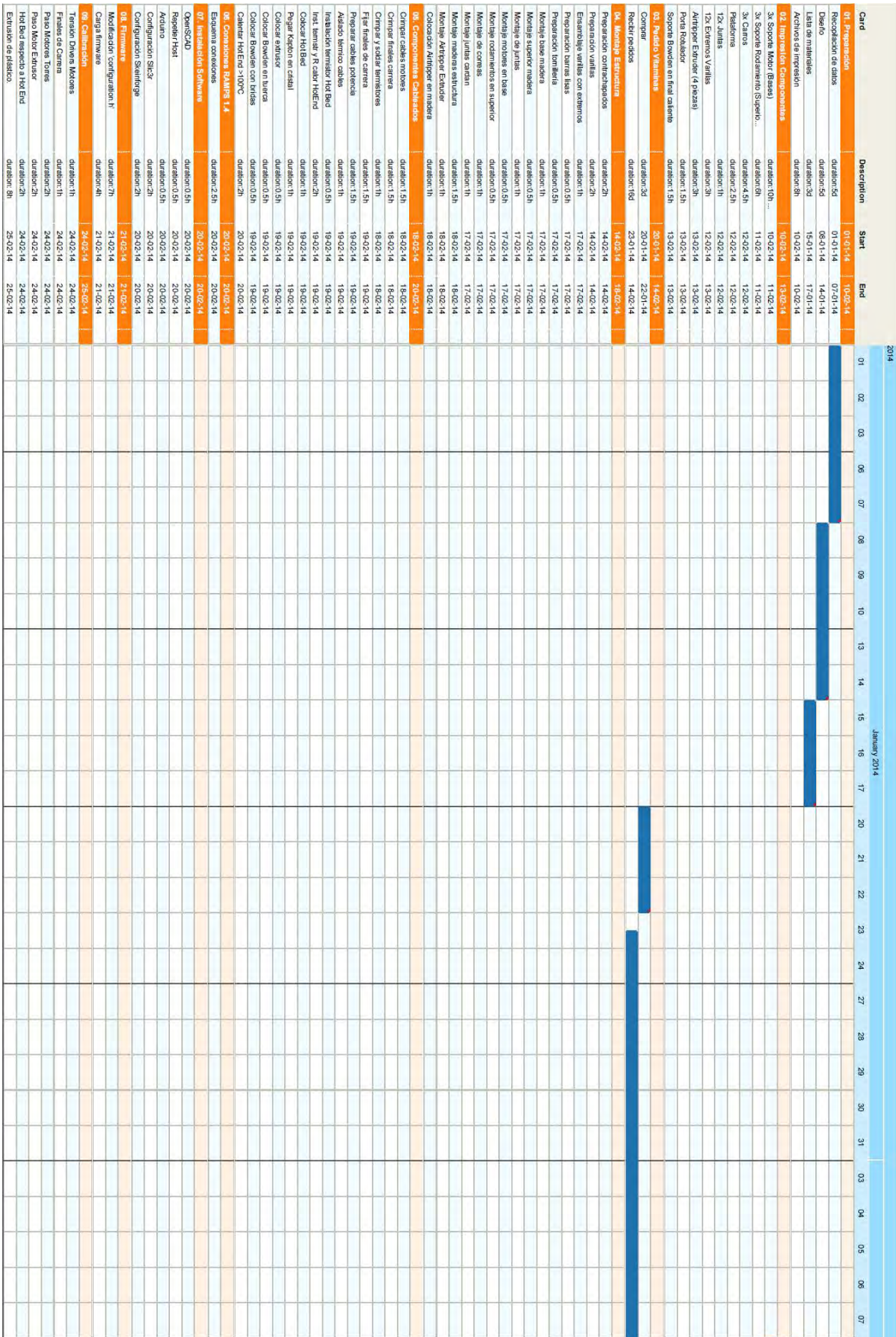


Diagrama de Gantt. Parte 1.

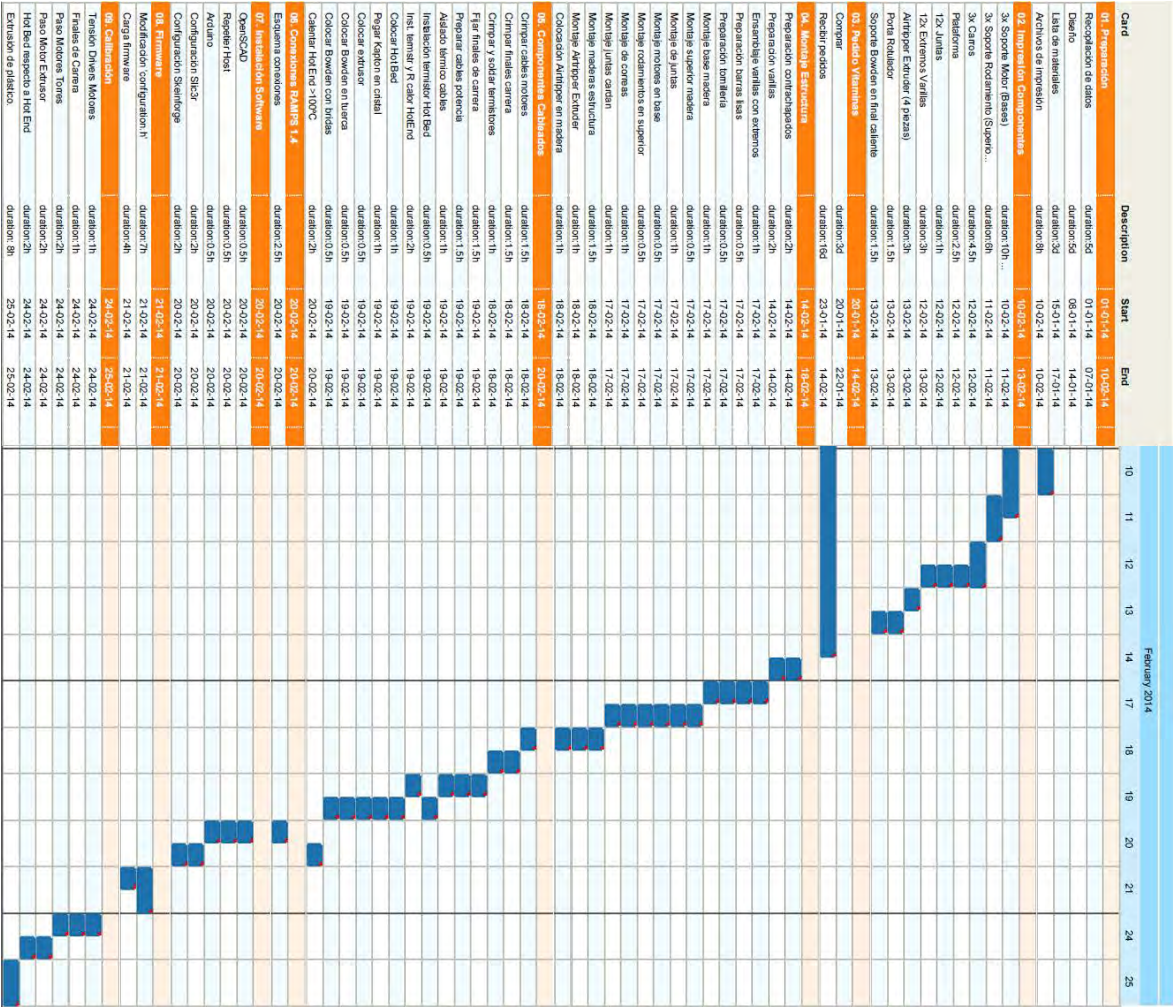


Diagrama de Gantt. Parte 2.

5.2 Hardware

En este apartado se recoge toda la información relacionada con el hardware. La adquisición de los componentes que forman la impresora 3D Rostock, el montaje de la estructura, el montaje de la electricidad y los métodos de calibración.

La adquisición de componentes presenta los elementos que van a formar la impresora. El montaje de la estructura describe cómo se relacionan los componentes mediante ensamblajes para construir la impresora. A través del montaje de la electricidad se muestra la manera de realizar las conexiones del cableado de los componentes que lo necesitan. Finalmente se definen los métodos de calibración que se han de llevar a cabo antes de poner en marcha la impresora.

5.2.1 Adquisición de componentes

En este apartado se muestran los diferentes componentes utilizados. Se presentan en dos grupos: por un lado los **componentes no imprimibles**, aquellos que hay que adquirir y por otro lado los **componentes imprimibles**, que son fabricables por una impresora 3D.

5.2.1.1 Componentes no imprimibles (vitaminas)

Vitaminas son aquellos componentes que no se pueden fabricar en plástico con una impresora 3D. El objetivo del diseño de cualquier impresora 3D es reducir, al mínimo, las vitaminas necesarias para construirla. Estos componentes suponen un porcentaje muy alto del presupuesto total de este proyecto.

A continuación se describen los detalles de cada uno de los componentes no imprimibles.

a. Contrachapado

	Ud.	Descripción	Dimensiones
Contrachapado	1	Tablero	1200 x 600 x 15 mm

Tabla 2. Contrachapado. Lista componentes no imprimibles.

El contrachapado necesario se puede obtener a partir de un tablero de dimensiones 1200 x 600 x 10 mm (altura x anchura x espesor). Sin embargo son necesarios 4 elementos que sumando sus dimensiones no abarcan toda la superficie del tablero que se propone adquirir (Figura 28).

Los elementos necesarios y sus dimensiones son las siguientes:

- Pieza inferior: 350 x 300 mm.
- Pieza superior: 350 x 300 mm.
- Pieza lateral estrecha: 772 x 130 mm.
- Pieza lateral ancha: 772 x 200 mm.

La disposición de las piezas se ha realizado para aprovechar los cortes rectos y paralelos que tiene el tablero adquirido. De este modo asegura que los cortes acotados con 120° entre sí tengan una inclinación adecuada respecto a los taladros donde se alojará la torre central de la impresora. Por el mismo motivo, los talados laterales que se encuentran situados en los exteriores del tablero deben apoyar correctamente. Tienen la funcionalidad de, con la ayuda de bridas, unir las distintas piezas de contrachapado.

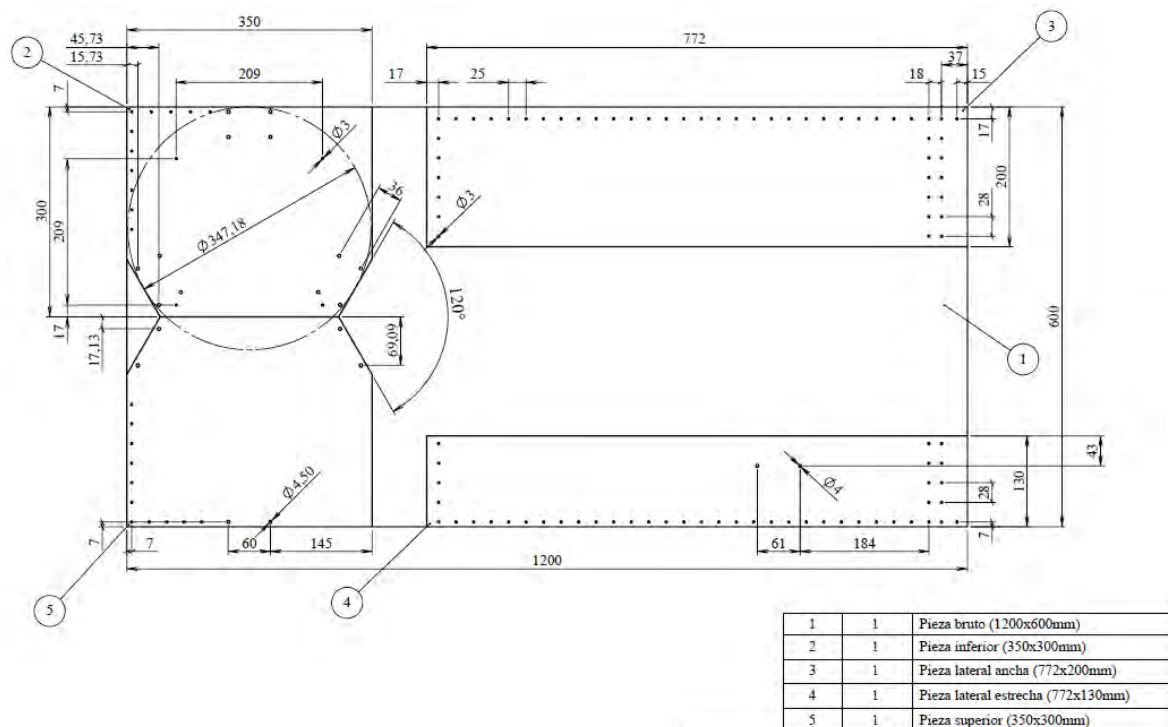


Figura 28. Planos de corte para tablero de contrachapado.

b. Hot End

	Ud.	Descripción	Dimensiones
Hot end	1	Brida madera sujeción	
	1	J-Head: Soporte para boquilla	Filamento de 1.75 mm
	1	J-Head: Boquilla	De 0,5 mm (filamento 1.75 mm)
	1	J-Head: Tornillo Cabeza Hueca	
	1	Tubo PTFE	2 int / 4 ext mm diámetro
	1	Masilla Térmica	T ^a > 300°C

Tabla 3. Hot End. Lista de componentes no imprimibles.

i. Brida madera sujeción

La funcionalidad de este elemento (Figura 29) es fijar el extrusor J-Head al elemento imprimible *Plataforma* (Figura 58).

Este elemento se ha fabricado con un tablero reciclado de contrachapado de 4 mm de espesor. El espesor ideal es 4.5 mm para que ajuste perfectamente con la ranura que dispone el J-Head para este propósito. Pero esta diferencia no influye en la funcionalidad de la brida. Se puede adquirir esta pieza en aluminio y realiza la misma función.

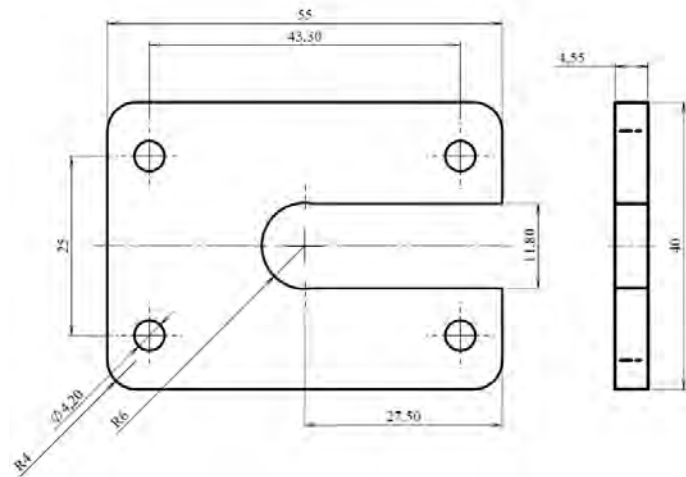


Figura 29. Pieza unión J-Head con Plataforma.

ii. J-Head

Este conjunto adquirido (Tabla 17) incluye todos los componentes para montar. La máxima temperatura que resiste el material PEEK, del que está fabricado el soporte de la boquilla, es 247°C [27]. Los siguientes elementos que se muestran son los necesarios para completar el componente J-Head (Figura 30):

- J-Head: Boquilla 0.5mm (1.75mm filamento).
- J-Head: Soporte para boquilla (1.75mm filamento).
- J-Head: Tornillo Cabeza Hueca.
- Tubo PTFE, 2int/6ext diámetro (10cm).
- Termistor 100K (Figura 43).
- Resistencia calorífica, 6R8 2.5W (Figura 44).



Figura 30. J-Head, componentes.

iii. Masilla térmica

La masilla térmica utilizada en este proyecto (Figura 31) se encuentra fácilmente en grandes superficies. A través de internet se pueden encontrar masillas cerámicas pero a precios bastante altos. Algunos proveedores distribuyen pegamentos térmicos que resisten una temperatura máxima de 200 °C.

La funcionalidad de esta masilla es fijar tanto la resistencia calorífica como el termistor en la boquilla (final caliente) del extrusor J-Head. Este elemento alcanza más de 230 °C trabajando con el material ABS y entre 180 y 220 °C con PLA.

Finalmente se optó por utilizar masilla térmica para chimeneas que soporta una temperatura de hasta 1500 °C. Tiene varios inconvenientes: la viscosidad que presenta es muy baja, la cantidad mínima que se puede adquirir es mucho mayor que la necesaria, necesita un aplicador y el tiempo de secado ronda los dos días. Si fuera necesario eliminarla para reemplazar algún elemento, una vez seca, sólo se puede destruir mecánicamente. Las ventajas son que el resultado es el esperado, el precio aceptable y es fácil de encontrar en grandes superficies dedicadas al bricolaje y la construcción.



Figura 31. Masilla térmica refractaria.

c. Barras

	Ud.	Descripción	Dimensiones
Barras	3	Lisas	762 x 8 mm
	2	Fibra de vidrio	1 m x 4 mm

Tabla 4. Barras. Lista componentes no imprimibles.

i. Barras Lisas

Las barras utilizadas en esta impresora (Figura 32) para darle la altura son de acero inoxidable. Se denominan barras lisas (*smooth rods* en inglés) y tienen 8 mm de diámetro y 762 mm (30 pulgadas) de largo.



Figura 32. Barras lisas.

ii. Varillas de fibra de vidrio

Este tipo de varillas se utilizan para formar el conjunto móvil. Unen los elementos imprimibles *Plataforma* y *Carro*. Son un elemento muy importante. El prototipo de la impresora de este proyecto utiliza estas varillas impresas. No ha sido posible imprimirlas para este proyecto ya que es complicado hacerlo. La longitud que deben tener supera los 250 mm. Esta longitud resultó imposible de imprimir en las impresoras que se tenían disponibles por lo que se optó por esta opción (Figura 33).

La fibra de vidrio es muy abrasiva, desgasta excesivamente el material con el que se corte. Al ser cortada con una sierra se astillan las aristas siendo necesario lijarlas. Por otro lado, es necesario utilizar guantes al manipular la fibra de vidrio ya que la capa externa contiene pequeñas fibras que se desprenden clavándose en la piel siendo muy complicada su eliminación.

Existen alternativas más recomendables como son la fibra de carbono o el aluminio. Las características de ambos materiales son similares a las prestaciones esperadas en la fibra de vidrio y el precio es similar.

Son necesarias 6 varillas de aproximadamente 230 mm, lo que supone aproximadamente 1380 mm. La longitud comercializada en este caso es de 1 m. Es necesario, por tanto, adquirir dos varillas de 1 m.

La longitud es aproximada debido a que cada varilla en ambos extremos lleva fijada una pieza imprimible llamada *Mandíbula*. La precisión de la impresión de la pieza en la superficie donde apoya la varilla es baja. Además el complejo proceso de corte de la fibra de vidrio ofrece una variabilidad de medida grande.



Figura 33. Preparación varillas fibra de vidrio.

d. Rodamientos

	Ud.	Descripción	Dimensiones
Rodamientos	6	Lineal LM8UU	8 x 16 x 25 mm
	4	Radial 608ZZ	8 x 22 x 7 mm
	1	Radial MR105ZZ	5 x 10 x 4 mm

Tabla 5. Rodamientos. Lista de componentes no imprimibles.

i. Lineal LM8UU

Este elemento (Figura 34) es utilizado para que los *Carros* deslicen suavemente sobre las barras lisas y permitan una mayor velocidad. Sus dimensiones son 8 mm de diámetro interno, 15 mm de diámetro externo y 25 mm de longitud. Es un elemento estandarizado y fácil de adquirir.



Figura 34. Rodamiento lineal LM8UU.

ii. Radial 608ZZ

Rodamiento de una hilera de bolas de contacto radial con 2 deflectores de metal y jaula de acero. Sus dimensiones son 8 mm de diámetro interior, 22 mm de diámetro exterior y 7 mm de espesor [28].

Se encuentra en la impresora realizando la función de polea en la parte superior de cada torre. En el conjunto extrusor presiona el plástico contra el engranaje impulsor.

El rodamiento 608ZZ (Figura 35) se puede adquirir con relativa facilidad ya que es el que se utiliza en las ruedas de patines y monopatines.



Figura 35. Rodamiento radial 608ZZ.

iii. Radial MR105ZZ

Mini rodamiento (Figura 36) utilizado para asegurar la perpendicularidad del eje del motor colocado en el conjunto extrusor. Permite que exista una fuerza normal a la ejercida por el rodamiento 608ZZ al empujar el engranaje impulsor fijado en el eje del motor. Sus dimensiones son 5 mm de diámetro interno, 10 mm de diámetro externo y 4 mm de ancho.



Figura 36. Mini rodamiento MR105ZZ.

e. Poleas y correas

	Ud.	Descripción	Dimensiones
Poleas y correas	3	Correa dentada T2.5	Paso 2.5 mm / 16 dientes
	3	Polea T2.5	Paso 2.5 mm
	1	Engranaje dentado impulsor MK8	

Tabla 6. Poleas y correas. Lista de componentes no imprimibles.

i. Correa dentada T2.5

Correa con dientes trapezoidales con paso 2.5 mm y aproximadamente 1600 mm de longitud (Figura 37).



Figura 37. Correa dentada T2.5.

ii. Polea T2.5

Se utilizan 3 de estas poleas (Figura 38) y se encuentran situadas en los ejes de los motores en la base de cada torre. Tienen 16 dientes y un paso de 2.5 mm. El diámetro interno es de 5 mm y la longitud de los dientes 8 mm. Se fija al eje colocando un tornillo con cabeza hueca de 1.5 de tipo Allen.



Figura 38. Polea T2.5.

iii. Engranaje dentado impulsor MK8⁴

Engranaje (Figura 39) situado en el eje del motor del conjunto extrusor. El plástico es presionado, por el rodamiento 608ZZ citado previamente, sobre los dientes de este engranaje que al girar impulsa el plástico hacia el final caliente.

El diámetro exterior es de 9 mm y el efectivo es de 7 mm, tiene una longitud de 11 mm y se fija al eje con el mismo método que la polea del apartado anterior.



Figura 39. MK8 Engranaje impulsor.

f. Electrónica

	Ud.	Descripción	Dimensiones
Electrónica	1	Arduino Mega 2560	
	1	RAMPS 1.4	
	4	Drivers Motores Stepstick A4988	
	4	Disipadores para drivers A4988	
	2	Termistor	100k
	1	Resistencia calorífica	6R8 2.5W
	1	Base calorífica Heated Bed PCB MK2	210x210 mm
	3	Finales de carrera	
	4	Motor NEMA 17 Paso a paso	1.8° /paso - 4.8kg/cm
	1	Fuente de alimentación	360W (12V - 30A)
	2	Ventilador	12V

Tabla 7. Electrónica. Lista de componentes no imprimibles.

⁴ Según un estudio publicado en airtripper.com, el engranaje MK8 ofrece las mejores prestaciones en comparación con el resto de la oferta existente a fecha 23 de noviembre de 2013.

<http://airtripper.com/1676/3d-printer-extruder-filament-drive-gear-review-benchmark/>

i. *Arduino Mega 2560*

Placa electrónica muy extendida su aplicación para el control de impresoras 3D. El motivo inicial para elegir esta electrónica es que se ha utilizado en la fabricación de máquinas de cinemática paralela. Dispone de una capacidad de 256 KB de memoria flash (Figura 40) destinado en su mayoría a la carga del código de programa (firmware) que define las funciones que debe realizar.

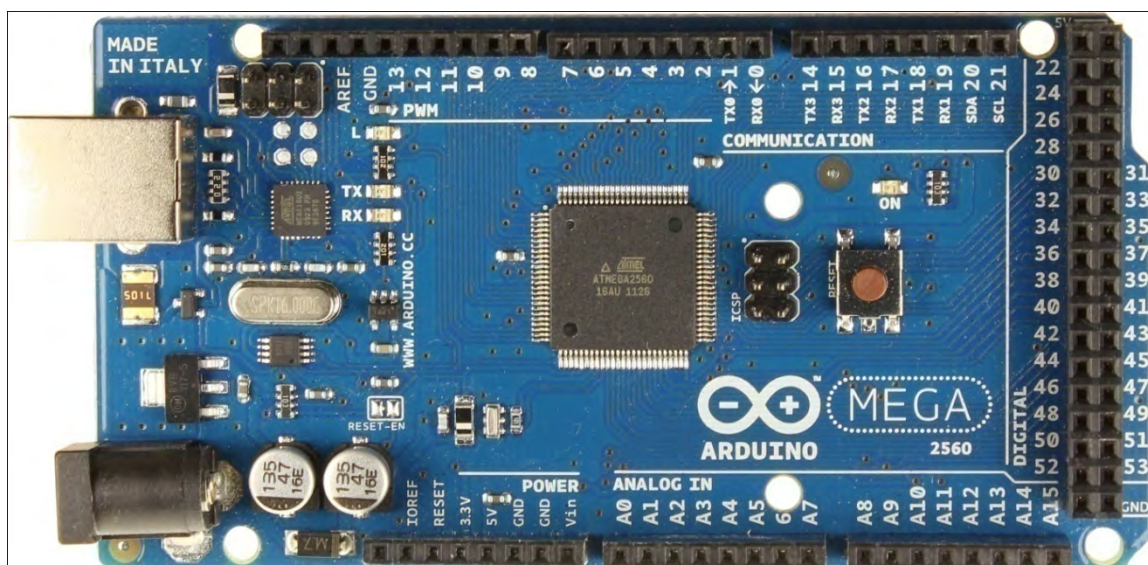


Figura 40. *Arduino Mega 2560.*

En un primer momento se utilizó la placa electrónica Sanguinololu 1.3a. Llevaba instalado el microcontrolador ATmega644P que no dispone de la memoria suficiente (64KB) para almacenar el firmware de la impresora 3D Rostock. Este firmware precisa de una memoria de al menos 120 KB y memoria adicional para la realización de operaciones durante su funcionamiento. Se intentó aumentar la capacidad el microcontrolador adquiriendo el ATmega1284P.

Este tipo de microcontroladores del tipo AVR necesitan una carga o ‘quemado’ inicial, cargar el gestor de arranque (*bootloader*). Para hacerlo es necesario otro dispositivo electrónico que a través de los seis pines nombrados en la Figura 40 como ICSP realiza esta operación. Sin embargo, aunque es una operación simple que además se encuentra documentada en la web de arduino y se encuentra soportada por este software, no fue posible realizarla.

Finalmente se encontró una oferta de un pack, que contenía otros componentes necesarios para este proyecto, con la operación *bootloader* realizada sobre el microcontrolador y se decidió adquirirla.

Esta electrónica cumple todos los requisitos necesarios para poder controlar esta impresora 3D Rostock de forma óptima.

ii. *RAMPS 1.4*

RepRap Arduino Mega Pololu Shield (RAMPS), fue diseñada para poder conectar toda la electrónica que necesita una impresora RepRap y es tecnología *Open Source* bajo licencia GPL. Es fácil de adquirir por partes y ser ensamblados sus componentes a un bajo coste ya que toda la información sobre su fabricación se encuentra publicada en internet [3].

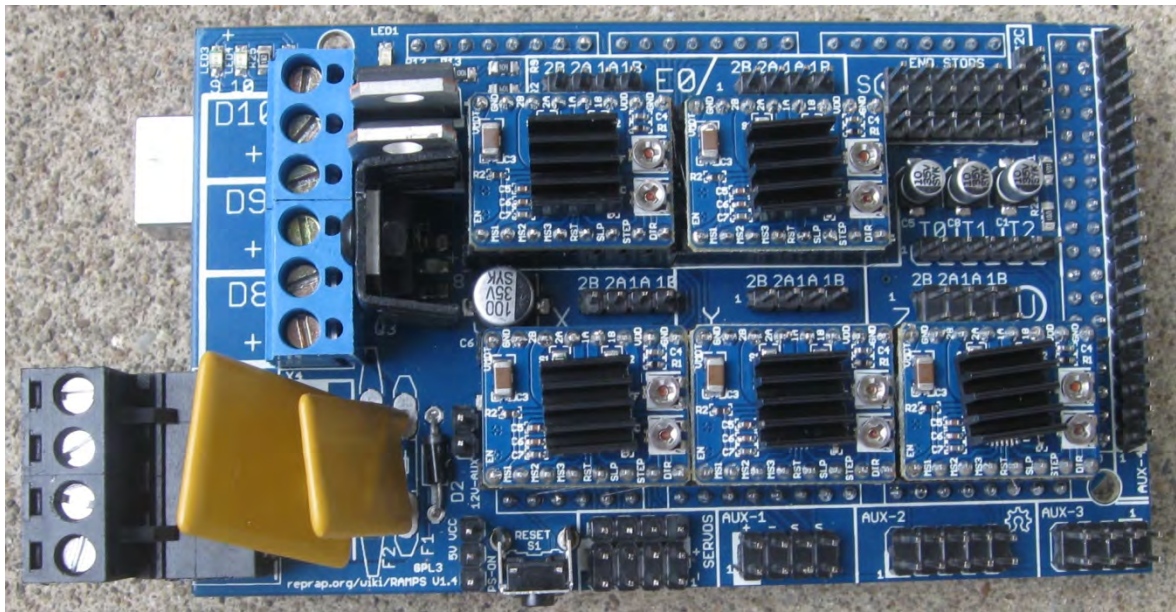


Figura 41. RAMPS 1.4.

Ensamblada en la placa Arduino Mega 2560 permite conectar:

- Los controladores para 5 motores paso a paso.
- Finales de carrera: 6.
- Salidas de potencia (calentadores): 3.
- Entradas control temperatura (termistores): 3.
- Salidas para ventiladores: 1.

La impresora que se va a montar necesita una impresora que disponga de controladores para 4 motores paso a paso. RAMPS 1.4 permitiría añadir un quinto motor para, por ejemplo, utilizar dos extrusores. Además permite la instalación de otro calentador y para permitir el control de una tercera medida de temperatura (Figura 41. RAMPS 1.4.).

iii. *Controladores motores paso a paso A4988*

Existen muchos modelos compatibles de este tipo de controlador A4988. En este caso se adquirieron con las placas electrónicas Arduino Mega 2560 y la RAMPS 1.4. Este modelo es denominado G3D A4988 Driver (Figura 42) y es posible acceder a toda la información sobre su fabricación o posibilidad de adquisición en internet [29].



Figura 42. Controladores motores paso a paso A4988.

iv. *Termistor 100k*

Los termistores instalados (Figura 43) tienen un encapsulado de vidrio resistente al calor y son muy estables. Pueden medir temperaturas de hasta 300°C y responden rápidamente a las variaciones de ésta.



Figura 43. Termistor NTC 100k.

v. *Resistencia calorífica 6R8 2.5W*

Este elemento (Figura 44) se instala en la boquilla del componente J-Head adherido con masilla térmica. Ocupa una de las salidas de potencia de la placa RAMPS 1.4 y es la encargada de calentar el final caliente (*hot end*). Sus características aparecen en la Tabla 8.



Figura 44. Resistencia calorífica 6R8 2.5W.

Potencia Nominal	3 W
Diámetro	5.5mm
Longitud	12mm
Valor Resistencia	6.8Ω
Tecnología	Bobinado
Coefficiente Temperatura	±75ppm/°C
Estilo Acabado	Axial
Tolerancia	5%

Tabla 8. Características resistencia calorífica.

Ejemplo de cálculo de variación de resistencia por ppm (partes por millón [30]).

Considerando dos valores de temperatura: T1=25°C; T2=200°C.

$$R(T1) = 6.8 + 6.8 \left(\frac{75 \cdot 25}{1000000} \right) = 6.8 + 0.013 = 6.813 \quad (1)$$

$$R(T2) = 6.8 + 6.8 \left(\frac{75 \cdot 200}{1000000} \right) = 6.8 + 0.102 = 6.902 \quad (2)$$

La variación del valor de la resistencia en función de la temperatura no es significativa, sin embargo si se deseara disminuir el consumo de este componente podría lograrse disminuyendo el coeficiente de temperatura.

vi. Base calorífica PCB (PCB Heatbed)

La primera versión de este componente fue desarrollada por Josef Průša. Dispone de una zona activa de calentamiento de 200 x 200 mm. Los taladros situados en los vértices tienen 209 mm de centro a centro para el montaje (fuera de la zona activa). El tamaño total de PCB es de 214 x 214 mm. Toda la información necesaria para fabricar o adquirir este componente (Figura 45) se puede encontrar en la wiki de RepRap [31].

Es necesario que la fuente de alimentación tenga disponibles 10A para el consumo de este componente.



Figura 45. Base calorífica PCB.

vii. *Finales de carrera*

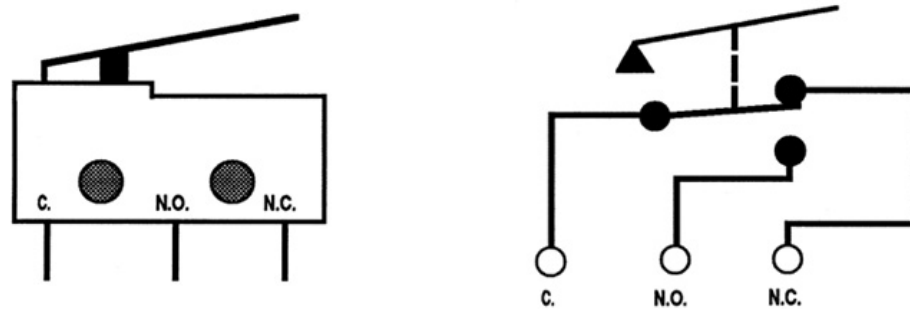


Figura 46. Esquema pulsador final de carrera.

Los pulsadores [32] para detectar el final de recorrido de los carros controlados por los motores corresponden al esquema mostrado en la Figura 46. Tienen una precisión de $\pm 1\text{mm}$ y su funcionalidad es la de situar los carros en una posición de referencia.

viii. *Motor paso a paso NEMA 17*

Los motores que se montan en esta impresora son motores paso a paso bipolares NEMA 17 (Figura 47) de cuatro cables con un par mantenido de 4800 g/cm a 2.5A. El giro que producen por cada paso es de 1.8° y tiene una precisión en el paso del 5%. Los taladros para su fijación son para tornillos de M3 y paso 0.5, tienen una profundidad mínima de 4.5 mm. El diámetro del eje es de 5 mm. El fabricante de este motor es Wantai Motor [33] y el modelo es el 42BYGHW811 [34].



Figura 47. Motor NEMA17.

ix. Fuente de alimentación

Para poder elegir adecuadamente la fuente de alimentación es necesario conocer el consumo que va a demandar la impresora en funcionamiento. A continuación se realizan los cálculos de consumo de los diferentes componentes:

- Motores:

La impresora tiene instalados 4 motores que necesitan, según estimaciones del fabricante, 2.5A y 3.1V. No se va a tener en cuenta, ya que no es relevante para el cálculo de potencia activa necesaria, el desfase que introduce los 1.8mH que tiene la inductancia del motor y que genera una potencia reactiva en el consumo de la fuente de alimentación.

Por tanto tendremos que el consumo de los motores será:

$$P_m = 4 \times V \times I = 4 \times 3.1V \times 2.5A = 31W \quad (3)$$

- Base calorífica PCB:

El desarrollador recomienda reservar 10A para el uso de este componente. Se encuentra conectado a una tensión de 12V:

$$P_{pcb} = V \times I = 12V \times 10A = 120W \quad (4)$$

- Resistencia calorífica del final caliente:

Según los cálculos realizados en las ecuaciones,

$$R(T1) = 6.8 + 6.8 \left(\frac{75 \times 25}{1000000} \right) = 6.8 + 0.013 = 6.813 \quad (1)$$

$$R(T2) = 6.8 + 6.8 \left(\frac{75 \times 200}{1000000} \right) = 6.8 + 0.102 = 6.902 \quad (2)$$

por tanto, se va a suponer nula la variación de la resistencia calorífica de 6.8 Ohm. Se encuentra conectada a una tensión de 12V, por lo que la potencia que consume la resistencia calorífica será de:

$$P_R = \frac{V^2}{R} = \frac{12^2}{6.8} = 21.18W \quad (5)$$

- Ventiladores:

Suponiendo la conexión de dos ventiladores que consuman aproximadamente 0.15A cada uno y estén conectados a 12V:

$$P_V = V \times I = 12V \times 2 \times 0.15 A = 3.6W \quad (6)$$

El consumo total calculado que tendrá la impresora por parte de los elementos que demandan la mayor cantidad de la energía que deba suministrar la fuente de alimentación es de:

$$P_T = P_m + P_{pcb} + P_R + P_V = 31 + 120 + 21.18 + 3.6 = 175.78W \quad (7)$$

Por tanto la fuente de alimentación (Figura 48), teniendo en cuenta posibles ampliaciones en componentes que consuman potencia como añadir motores, algún otro extrusor o ampliar la placa PCB. Además es importante señalar que no se ha tenido en cuenta el consumo que hace el microprocesador ATmega2560 así como los controladores de los motores y las pérdidas que tienen todos estos componentes electrónicos. Se estima, por tanto, que será suficiente que tenga una potencia de 360W. También es posible utilizar una fuente reciclada de un ordenador ya que ofrecen una tensión de 12V y una potencia de 500W por lo general.



Figura 48. Fuente alimentación 12V 30A.

x. Ventilador

Los ventiladores (Figura 49) que se recomiendan adquirir son de dos dimensiones diferentes y para dos funciones distintas. En la placa electrónica es muy recomendable colocar, al menos, un ventilador. Las dimensiones son 50 x 50 mm. Por otro lado se puede colocar un ventilador de 40 x 40 mm en el J-Head para enfriar la parte más alejada de la boquilla y asegurar que el filamento de plástico llegue lo más sólido posible a la zona caliente del extrusor. De esta forma ejerce una presión mayor para favorecer la salida del plástico por la boquilla.



Figura 49. Ventilador 12V.

g. Cableado

	Ud.	Descripción	Dimensiones
Cableado	4	Cable 4 hilos, Rojo Azul Verde Negro	1 m
	3	Cable 3 hilos, Rojo Azul Negro	1.5 m
	2	Cable 2 hilos, Rojo Negro	1 m
	1	Cable Potencia 2 hilos Rojo Negro	1.5 m (para 18A)

Tabla 9. Cableado. Lista de componentes no imprimibles.

i. Cable 4 hilos

Son los cables que conectan los motores con la placa electrónica RAMPS 1.4. El material de estos cables es el cobre y están protegidos con material plástico de cuatro colores: negro, verde, rojo y azul respectivamente. Deben tener una sección mínima de 0.15 mm².

ii. Cable 3 hilos

Conectan los finales de carrera. En realidad con un cable de dos hilos es suficiente, ya que solamente se conectan dos bornes de los

pulsadores instalados. Sin embargo en caso de actualizar el tipo de detector es posible que sean necesarios los tres cables. Estos componentes no tienen consumo, sólo envían una señal por lo que la sección no tiene un mínimo. Se recomienda utilizar los mismos cables que para los motores.

iii. Cable 2 hilos

Conectan los termistores y los ventiladores. No necesitan tener una sección mínima en el caso de los termistores y en el caso de los ventiladores bastaría con una sección de 0.15 mm^2 . Se recomienda que sean los mismos que los de los motores, ya que los conectores a los que se deben soldar son los mismos que los usados para los motores en su conexión a la placa RAMPS.

iv. Cable potencia 2 hilos

Estos cables suministran la energía necesaria a los elementos caloríficos, la base calorífica PCB y la resistencia calorífica del J-Head. Con una sección de 1 mm^2 puede resistir la potencia que requieren ambos elementos. Aún así los cables que necesita la resistencia pueden tener una sección menor.

Las secciones han sido calculadas con la aplicación de cálculo de secciones de la web [35].

h. Fungibles

	Ud.	Descripción	Dimensiones
Fungibles	1	Cinta Kapton	Ancho ideal 200 mm
	1	Plástico ABS o PLA	
	100	Bridas	100x2.5 mm

Tabla 10. Fungibles. Lista de componentes no imprimibles.

i. Cinta kapton (Cinta de poliamida)

La cinta de material kapton (Figura 50) presenta una excelente resistencia al calor, y se puede utilizar a alta temperatura. Además, después de retirarla no deja ningún residuo. Es buena a prueba de soluciones, a prueba de químicos y ofrece un excelente aislamiento.



Figura 50. Cinta Kapton.

Se utiliza para cubrir la superficie de impresión. Facilita que la primera capa impresa permanezca adherida y permita la deposición de la segunda. Además tiene la función de aislar térmicamente los cables de elementos como termistores que pueden estar en contacto con las superficies calientes o cables que alimentan a los elementos caloríficos.

ii. Plástico ABS o PLA

Es la materia prima utilizada para imprimir las piezas en 3D. Se distribuye en bobinas de 1 kg o 2 kg (Figura 51).

El PLA (ácido poliláctico) es biodegradable, funde a partir de 180°C y es recomendable que la base se encuentre a aproximadamente 60°C para que la primera capa impresa quede adherida a la base de impresión.

El ABS[36], pertenece a una familia de polímeros termoplásticos. El acrónimo deriva de los tres monómeros utilizados para producirlo: acrilonitrilo, butadieno y estireno. Funde entre 230°C y 250°C y la base debe tener una temperatura de 110-120°C.



Figura 51. Bobinas de plástico de impresión.

iii. Bridas

Estas bridas (Figura 52) de material plástico se utilizan para unir las piezas de madera entre sí y para unir algunos cables. Deben tener 2.5 mm de ancho y al menos 100 mm de longitud.



Figura 52. Bridas.

i. Otros

	Ud.	Descripción	Dimensiones
Otros	1	Tubo Bowden PTFE	2 int / 4 ext mm diámetro y longitud de 1 m
	1	Espejo (base impresión)	20 x 20 cm

Tabla 11. Otros. Lista de componentes no imprimibles.

i. Tubo Bowden PTFE

Se utiliza para guiar el filamento de plástico desde el conjunto extrusor hasta el final caliente. El teflón (PTFE o Politetrafluoroetileno) soporta altas temperaturas y disminuye la fricción del filamento permitiendo que el plástico se deslice por el tubo suavemente. En la figura aparecen conectores neumáticos que son la mejor opción para que el cable permanezca fijo en sus extremos ante la fuerza que ejerce el motor que impulsa el plástico. Para este proyecto se ha utilizado una longitud de 620 mm y su diámetro es de 4 mm el exterior y de 2 mm el interior por donde pasará el plástico de diámetro 1.75 mm.

Existe la posibilidad de adquirir este tubo de teflón y que, erróneamente, el material que forma el tubo sea poliuretano (PU), en este caso el filamento plástico presentará una fricción excesiva dificultando la extrusión.

En la Figura 53 se muestra el tubo PTFE utilizado y en la Figura 54 aparece un tubo de PU vendido como si fuera de Teflón y con el que no se puede imprimir.

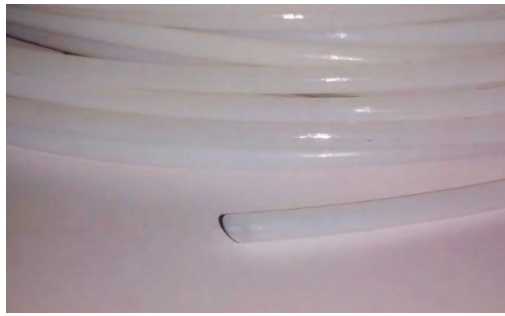


Figura 53. Cable Bowden PTFE.



Figura 54. Cable Bowden PU.

ii. Espejo (base impresión)

Se utiliza como base de impresión fijándolo con pinzas de oficina a la base calorífica PCB (Figura 55). Las dimensiones son de 200 x 200 mm.

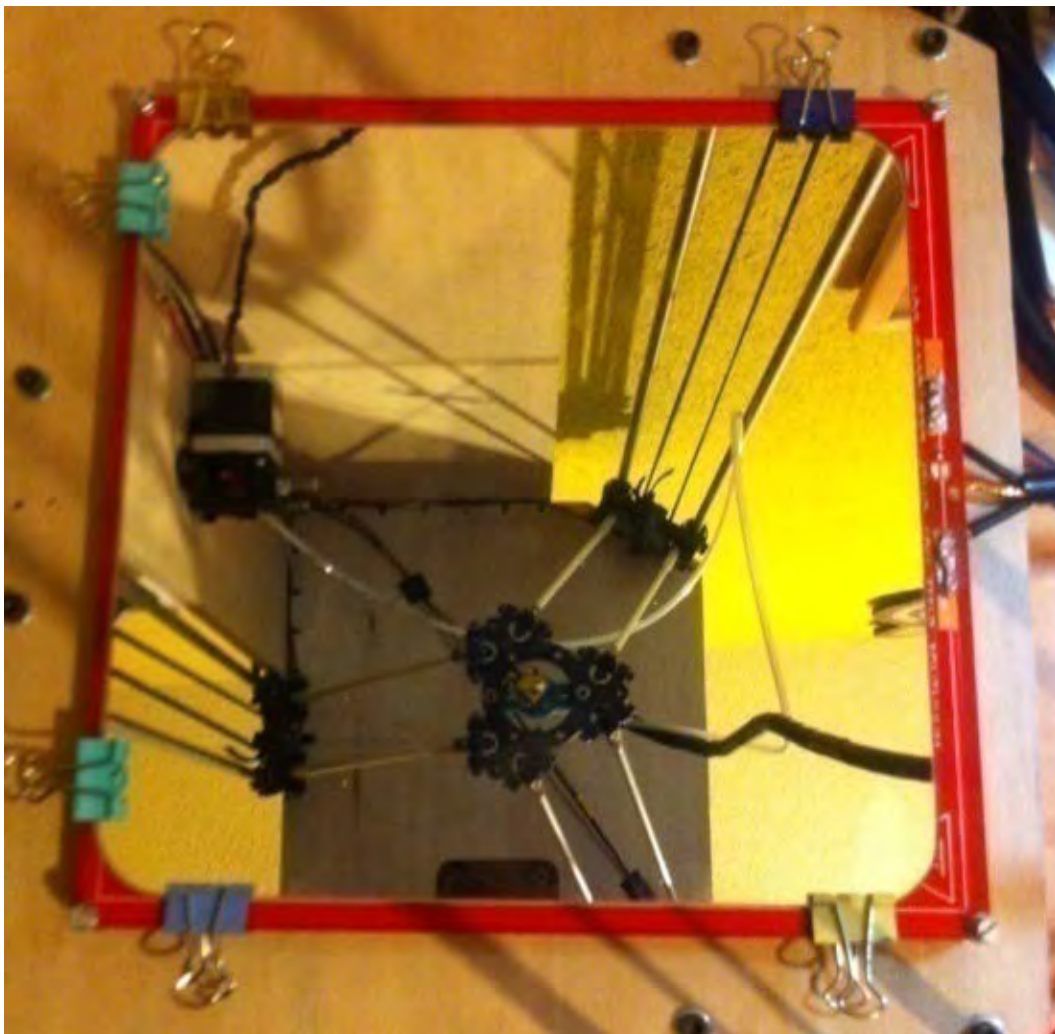


Figura 55. Espejo (base de impresión).

j. Muelles

	Ud.	Descripción	Dimensiones
Muelles	4	Nivelado de base impresión	M3
	2	Extrusión del plástico	M3

Tabla 12. Muelles. Lista de componentes no imprimibles.

La utilización de estos muelles es para la calibración de la base caliente colocando uno en cada vértice de la base caliente. Además son necesarios para que la pieza *Porta Rodamiento* del cuerpo extrusor sea empujada con la función de que el rodamiento presione el plástico contra el engranaje impulsor.

Deben tener un diámetro que permita montarse sobre un tornillo M3. Existen distribuidores, pero los bolígrafos con muelle son una buena opción para conseguirlos.

k. Tornillería

	Ud.	Descripción		Dimensiones
Tornillería	6	M2	Tornillo	10 mm
	12	M3	Tornillo	10 mm
	28			12 mm
	42			16 mm
	8			30 mm
	70			Tuerca
	4		Tuerca Autoblocante	
	80		Arandela	
	8	M4	Tornillo	20 mm
	6			25 mm
	6			30 mm
	6			40 mm
	14		Tuerca	
	40		Arandelas	
	3	M8	Tornillo	35 mm
	3		Tuerca	
	7		Arandela	

Tabla 13. Tornillería. Lista de componentes no imprimibles.

Es recomendable que la tornillería sea de acero inoxidable y de cabeza cilíndrica con el centro hueco hexagonal para permitir el ajuste mediante llaves Allen.

5.2.1.2 Piezas impresas

En este apartado se describen los componentes imprimibles. Son aquellos que se pueden imprimir con una impresora 3D por extrusión de plástico. El diseño original fue realizado por Johann C. Rocholl.

El proceso de impresión comprende varias etapas. Las piezas a imprimir en primer lugar se diseñan en un programa de CAD. Tras el diseño, con un programa de tipo CAM se generan todas las capas (laminado del diseño) que son necesarias para que la impresora 3D pueda crear el sólido. Una vez laminado se utiliza un programa de control de la impresión que se comunica con la impresora enviándole los comandos para ejecutar cada movimiento.

Las piezas utilizadas en esta impresora fueron impresas con una Thing-O-Matic, bautizada como PADRE o UC3PO[37]. Se utilizaron los programas OpenSCAD (CAD), Slic3r (CAM) y Replicator (controlador de impresión).

Cada pieza tiene un tiempo de fabricación que viene dado por la configuración que se establezca en el programa de laminado, principalmente por la velocidad de impresión. Esta velocidad está limitada, en este caso, por la capacidad de la impresora UC3PO y que idealmente es de 30 mm/s. La plataforma de impresión, de tamaño 10x10 cm, no se encontraba en buen estado (Figura 56) y se tuvieron que imprimir todas las piezas utilizando la opción balsa (*raft*)⁵.

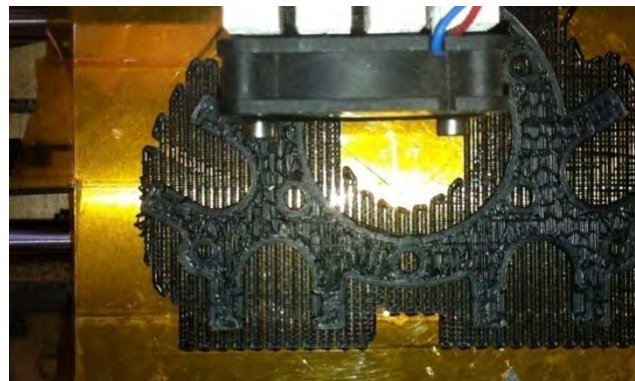


Figura 56. Impresión con la opción balsa (*raft*).

Los nombres originales de las piezas son en inglés. En este proyecto se utilizará, por lo general, la traducción, aproximada, al castellano. Pero se nombrarán, al menos, una primera vez todos los componentes en ambos idiomas para establecer la relación. Ayudando a que la búsqueda de más información en internet resulte más sencilla conociendo ambos nombres.

⁵ Consiste en que las primeras capas forman una superficie impresa compensando los errores de la superficie de impresión y que una vez terminada la pieza puede eliminarse con relativa facilidad.

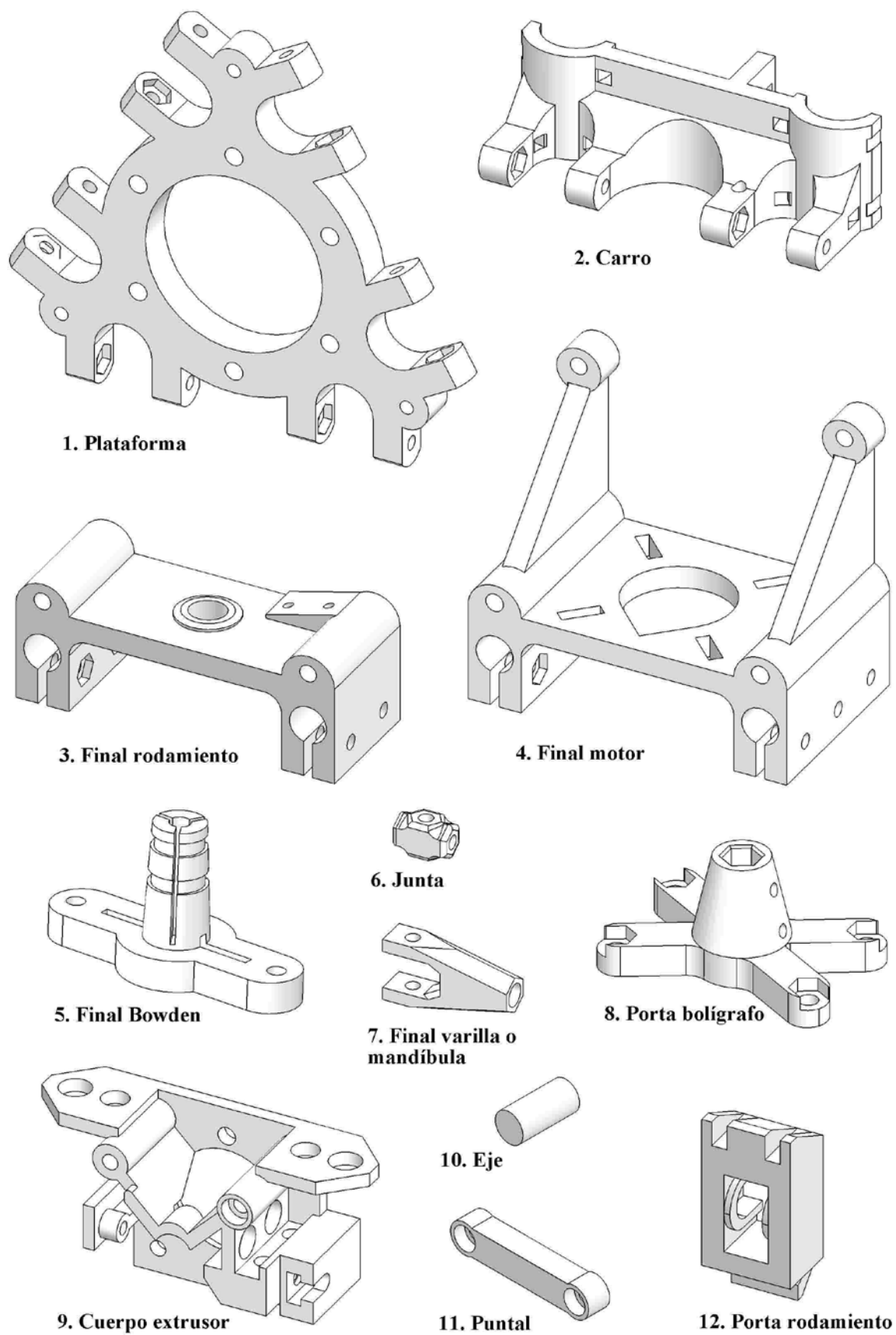


Figura 57. Piezas imprimibles para Rostock 3D.

Los archivos de las piezas imprimibles, son fáciles de encontrar[38], en su versión original, con la extensión (*.scad) del programa OpenSCAD. Los programas CAD propietarios normalmente permiten realizar planos de las piezas diseñadas. Facilitan, por tanto, su uso en aplicaciones o posibles modificaciones para adaptarlas a diferentes utilidades. También permiten la conversión entre los formatos que utilizan cada uno de ellos.

En el caso de OpenSCAD no se pueden realizar planos de la pieza y la conversión a los programas comerciales tampoco es posible. Resulta muy complejo poder conocer las dimensiones de cada una de las piezas que forman la impresora Rostock. En consecuencia no existen planos y se deben imprimir las piezas para comprobar si son correctas ensamblándolas y en caso de no serlo modificarlas y volverlas a imprimir.

Para evitar el método ensayo-error se han redibujado todas las piezas utilizando el programa de tipo CAD Solidworks, software propietario. Este programa permite construir los sólidos de las piezas sobre la base de los diseños originales y obtener los planos para poder tener las cotas de todas las medidas necesarias para poder diseñar perfectamente la construcción de la impresora y además poder editarlas fácilmente con cualquier software.

Las piezas imprimibles se muestran en la Figura 57, la escala es 1:1 para que pueda observarse el tamaño real. Al insertar la figura en el documento no conserva la medida aunque sí las proporciones. Si se quiere conocer en detalle cada pieza se recomienda consultar los planos en el documento Planos.

A continuación se describen las funcionalidades de cada pieza imprimible:

1. Plataforma (nombre en inglés: *Platform*)

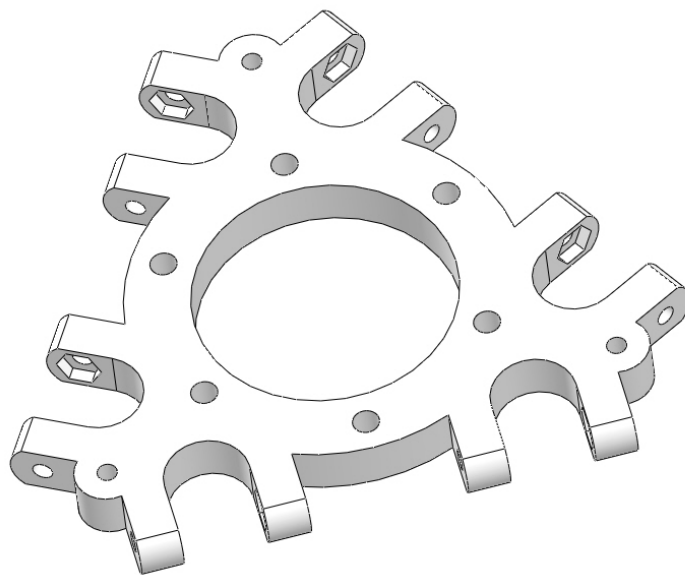


Figura 58. Plataforma.

La *Plataforma* (Figura 58) es la pieza sobre la cual se instala la punta caliente (*hot-end*), el extrusor J-Head. El movimiento de esta pieza viene producido por el desplazamiento, en dirección vertical, de los *Carros* instalados en las torres.

El diseño original tuvo que ser modificado. La primera impresión que se hizo de esta pieza no se pudo utilizar porque el hueco hexagonal para insertar las tuercas era demasiado pequeño para las tuercas de que se dispuso. Cuando se fijaron con los tornillos la pieza abrieron las capas del plástico y quedó inservible. Se agrandaron los agujeros para adaptarlos a la tuerca M3.

2. Carro (*Carriage*)

Son tres las piezas de este tipo y están instaladas sobre rodamientos lineales que se desplazan por las barras lisas que forman las torres. Cada *Carro* (Figura 59) se encuentra unido a una correa arrastrada por el movimiento del motor y así controlar la *Plataforma* donde está instalado el extrusor que es el responsable de depositar el plástico, capa a capa, que va construyendo la pieza.

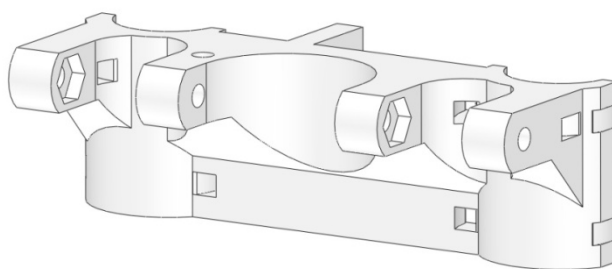


Figura 59. Carro.

3. Final rodamiento (*Idler end*)

La pieza *Final rodamiento* (Figura 60) se encuentra fija al contrachapado de la parte superior y en cada una de las tres piezas van insertadas las dos barras lisas que forman cada torre. Aloja el rodamiento que permite el movimiento de la correa que arrastra el carro de cada torre. Los finales de carrera se fijan en estas piezas y son activados cuando el carro alcanza la cota más alta.

El taladro donde se inserta el tornillo M8 que fija el rodamiento tiene una pequeña inclinación de 2° para hacer que la correa con el movimiento se desplace hacia la pieza evitando que el desplazamiento en sentido contrario motive la salida de su posición correcta. Esta solución es una buena pero tienen el inconveniente de provocar que la correa roce con la pieza. Resultando en un desgaste de ambos elementos por la fricción que se produce.

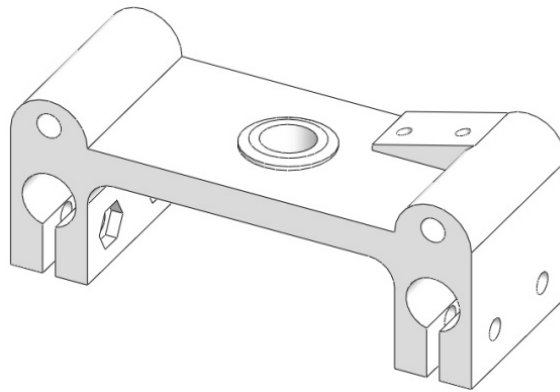


Figura 60. Final rodamiento.

4. Final motor (*Motor end*)

Los motores están alojados en estas tres piezas (Figura 61). Sirven de soporte inferior para las barras lisas por las que se moverán los *Carros* de cada torre. Se encuentra fijada a la base del contrachapado y son los tres puntos de apoyo originales de la impresora.

Es recomendable que el motor no toque la superficie de apoyo y se mantenga suspendido en el aire para una mejor ventilación. Aumentar la altura de esta pieza o diseñar una pieza que se acople a ella es una buena mejora, podemos ver un ejemplo en la Figura 8.

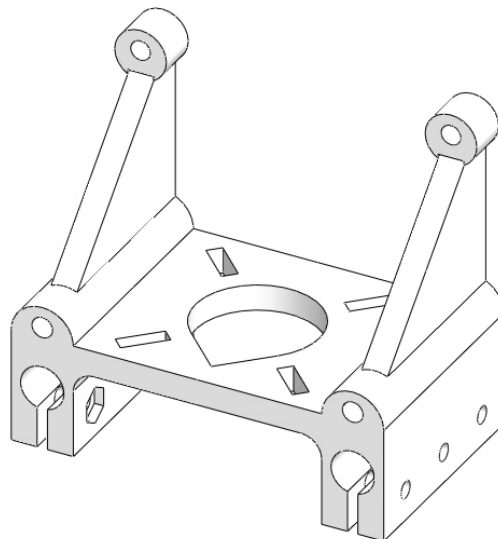


Figura 61. Final motor.

5. Final bowden (*Bowden end*)

Permite la sujeción del extremo del cable bowden que dirige el filamento de plástico desde el motor que empuja el filamento hasta la punta caliente. En el prototipo original, en la parte superior de esta pieza se coloca una tuerca de

métrica 8 para ajustar la entrada a los 4 mm de diámetro del cable bowden que se acopla. Pero la pieza original es muy frágil y al colocar la tuerca M8, la presión, rompe las tres pestañas de la pinza, son muy finas y se parten muy fácilmente. El diseño[39] de la Figura 62 corrige el problema de la pinza dándole más robustez y haciendo que la presión se ejerza en varios diámetros utilizando bridas. Gracias a las perforaciones de los extremos se fija a la plataforma.

Existen diseños que mejoran la parte donde se coloca el extremo del cable bowden pudiéndose instalar un conector neumático (racor) simplificando la instalación del tubo PTFE. En el caso de este proyecto el cable bowden que se ha comprado incluye los racores pero para poder utilizarlos se debería rediseñar esta pieza (Figura 54).

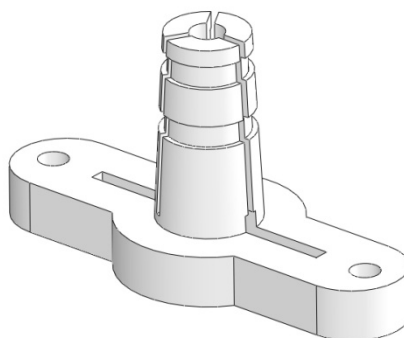


Figura 62. Final Bowden.

6. Junta (*Joint*)

Esta pieza junto con la pieza de los extremos de las varillas, la denominada como *Mandíbula*, forman una junta cardán⁶ o junta universal. Permite dos grados de movimiento entre la *Plataforma*, las varillas y los *Carros* de las torres.

La impresión de esta pieza es bastante compleja por ser de pequeñas dimensiones. En caso de imprimir solamente una no tiene tiempo suficiente para enfriarse una capa antes de que la siguiente esté siendo extruida. Es por este motivo por lo que conviene imprimir las 12 piezas juntas o combinándolas con otras piezas. Aún así la impresión primera que se realizó para este proyecto no logró darle las proporciones correctas a las piezas ya que acabaron muy deformadas. En la segunda impresión se consiguió un resultado mucho más satisfactorio. Aún con este resultado fue necesario limarlas para ajustarlas en los espacios donde se instalan en la *Plataforma* y en los carros. Para que no existan holguras y así evitar las vibraciones en la punta caliente.

⁶ Junta universal o junta cardán. Enlace consultado el 15 de mayo de 2014: <http://es.wikipedia.org/wiki/Cardán>

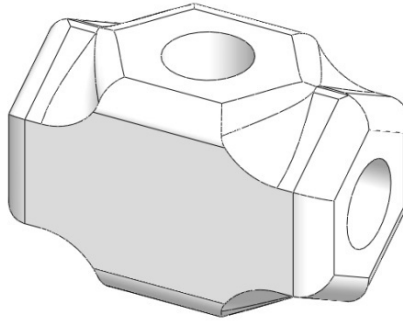


Figura 63. Junta.

7. Final varilla o mandíbula (*Jaw*)

La pieza *Mandíbula* (Figura 64) hace posible la unión de las varillas con la *Plataforma* y los *Carros* de las torres. Forman parte de la junta cardán.

Para la realización de este proyecto fue necesario ajustar el diámetro donde se ajustaron las varillas de fibra de vidrio de $\varnothing 5$. Es ideal que el ajuste sea con apriete pero debido a la precisión de la impresora 3D que se utilizó para la impresión resulta difícil de lograr. Este diámetro debe ser superior a 5 mm para que permita el ajuste con la varilla y no se rompa la pieza al fijarla. Debido al mismo problema de precisión resulta complicado saber cuál es la profundidad exacta del agujero donde se ajustan las varillas.

Con motivo de estas desviaciones resulta muy complicada la tarea hacer que cada varilla tenga entre los taladros de ambos extremos 250 mm. Esta medida es la utilizada por el creador del prototipo inicial de esta impresora Rostock 3D.

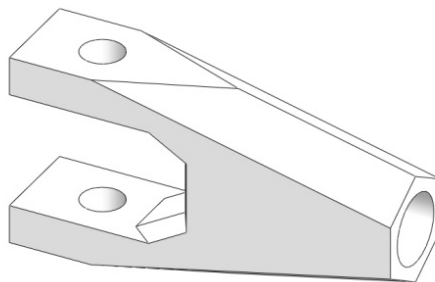


Figura 64. Final varilla o Mandíbula.

8. Porta bolígrafo (*Pen holder*)

La pieza *Porta bolígrafo* (Figura 65) es un accesorio que permite imprimir sin extrusión con un bolígrafo en 2D. Tiene cuatro taladros de $\varnothing 4$ para instalarlo sobre la plataforma.

El diseño original[38] tiene dos espacios con distintos diámetros para colocar un bolígrafo, lápiz o rotulador. La utilidad de esta pieza fue mucha pero los

problemas para poder fijar un bolígrafo BIC complicaron las pruebas de calibración. Tiene desplazados del centro los dos espacios donde se puede colocar un bolígrafo o un reloj comparador. Resulta muy útil que el bolígrafo coincida con el centro de la Plataforma para que la calibración se ajuste con la posición en la que va a estar situado el final caliente que permitirá la extrusión del plástico. Los diámetros, además, son muy grandes para instalar un bolígrafo BIC. Los bolígrafos de este fabricante tienen la ventaja de que son fáciles de conseguir.

Por este motivo se ha rediseñado de manera que se adapte a un bolígrafo BIC y se pueda fijar la posición con tornillos de M3 para que no se desplace en dirección vertical y sea posible calibrar la horizontalidad.

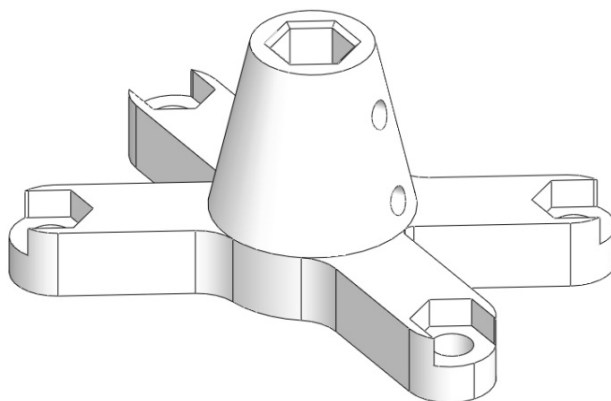


Figura 65. Porta bolígrafo.

Conjunto Extrusor (*Airtripper extruder*):

El conjunto de piezas impresas con las numeraciones 9, 10, 11 y 12 (Figura 57) forman este conjunto de piezas que se conoce por *Airtripper extruder v2* (Figura 66), traducido para simplificar como *Extrusor*. Este conjunto es el encargado de empujar el filamento hacia el final caliente donde se derrite y deposita formando capa a capa la impresión 3D.

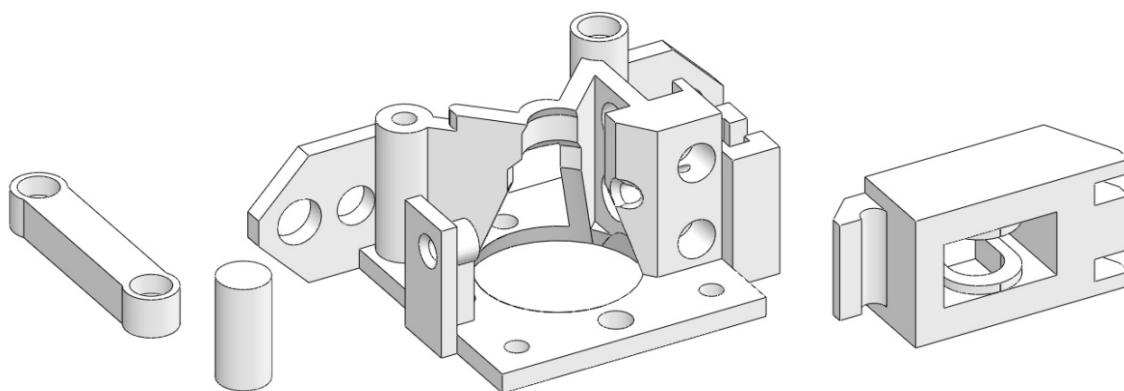


Figura 66. Conjunto de piezas del Airtripper Extruder.

El extrusor utilizado en primera instancia (impreso en agosto de 2012) en este proyecto es, en su nombre en inglés, *Airtripper Extruder v2*[40]. Un año después ya existían nuevas versiones: *Airtripper's Direct Drive Bowden Extruder V3*[41].

9. Cuerpo extrusor

Traducido como *Cuerpo extrusor* (Figura 67), es el soporte que aloja un engranaje de aluminio impulsor de tipo MK8 fijado en el eje del motor que empuja el plástico, con la ayuda del rodamiento instalado en la pieza número 12, al interior del cable bowden que lo guiará hasta la punta caliente situada en la *Plataforma*. El final caliente se encarga de derretir el plástico que dará forma a las impresiones en 3D. Permite fijar el extrusor a la estructura de madera y acoplar el cable por el que se va a conducir el plástico hasta el final caliente.

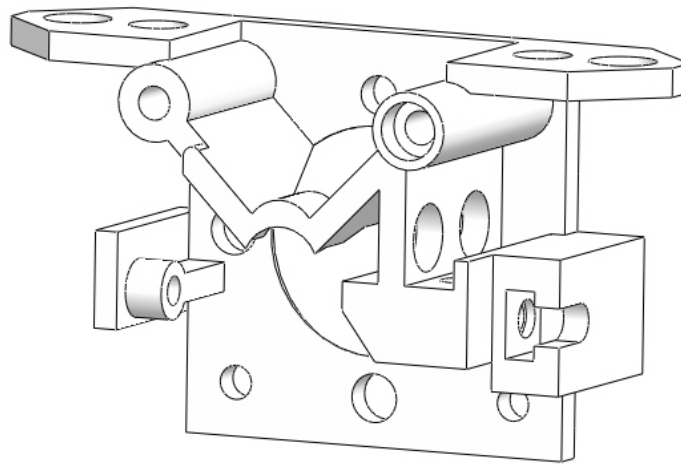


Figura 67. Cuerpo extrusor.

10. Eje

Esta pieza traducida como *Eje* (Figura 68), se encuentra insertado en el diámetro interior del rodamiento 608ZZ que presiona el plástico contra el engranaje.

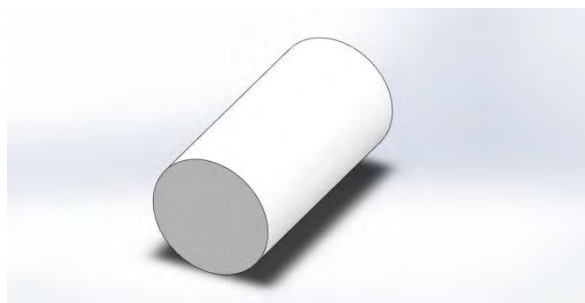


Figura 68. Eje.

11. Puntal

La pieza denominada *Puntal* (Figura 69) posiciona y sirve de apoyo para el tornillo donde apoya la pieza *Porta rodamiento*.



Figura 69. Puntal.

12. Porta rodamiento

Forma un subconjunto del extrusor con la pieza 10. Se montan con el rodamiento antes mencionado y hace posible el empuje del plástico. Un extremo se apoya y oscila sobre el cuerpo de un tornillo anclado entre el *Puntal* y el *Cuerpo extrusor*. El otro extremo es empujado por dos muelles regulados por tornillos.

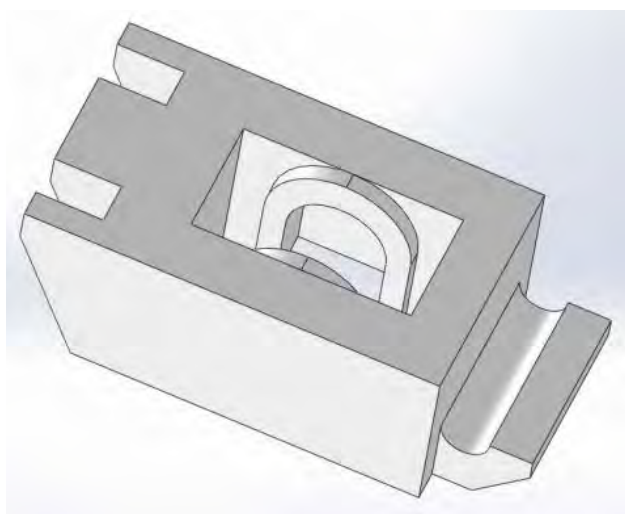


Figura 70. Porta rodamiento.

5.2.2 Montaje de la estructura

En el apartado 5.2.3 se describen las conexiones eléctricas que se deben realizar sobre cada componente cableado. Igualmente se muestran los métodos de instalación de éstos en los conjuntos a los que pertenecen.

Las conexiones eléctricas y ensamblajes de los componentes cableados deben realizarse previamente a su montaje en la impresora.

5.2.2.1 Preparación de contrachapados

El contrachapado original es de 12 mm de espesor, sin embargo para esta máquina se ha utilizado un espesor de 10 mm. Son necesarias dos piezas de 350 x 300 mm para la base y la parte superior. Además para formar la estructura, dotarla de estabilidad y fijar el paralelismo entre la base y la parte superior se utilizarán otras dos piezas de 772 mm de altura y 130 y 200 mm de ancho, respectivamente. La altura de 772 mm es la suma de la altura de las barras lisas, 762 mm y el espesor de la pieza superior.

Para poder montar la base y la parte superior es necesario dibujar el corte que se va a realizar para situar adecuadamente los taladros donde se instalarán las piezas impresas. Este es un paso fundamental para que la geometría de la impresora sea la correcta y cuando se realice el montaje ajuste todo adecuadamente.

El autor de este modelo de impresora diseñó una plantilla (*Jig*[38]) para facilitar el marcado del contrachapado (Figura 71). Resulta complicado imprimirla en 3D debido a que sus dimensiones superan las que puede abarcar, por ejemplo, la impresora Prusa Air 2 con una superficie de impresión útil de aproximadamente 160 x 180 mm.



Figura 71. Marcado de contrachapado.

Elementos no imprimibles y herramientas a utilizar:

- Tabla contrachapado 1200 x 600 x 10 mm.
- Sierra para madera.
- Escuadra, cartabón, compás, transportador de ángulos y lápiz.
- Taladro con brocas de 3 y 4 mm.
- Papel de lija.
- Regla metálica de 50 cm.

La realización de este apartado requiere de la consulta del documento Planos, en ellos se muestran todos los detalles. Para facilitar el acceso a los datos se muestra una imagen del plano (Figura 72).

La pieza superior tiene 6 taladros de M4 para la instalación de las 3 piezas imprimibles *Final rodamiento*.

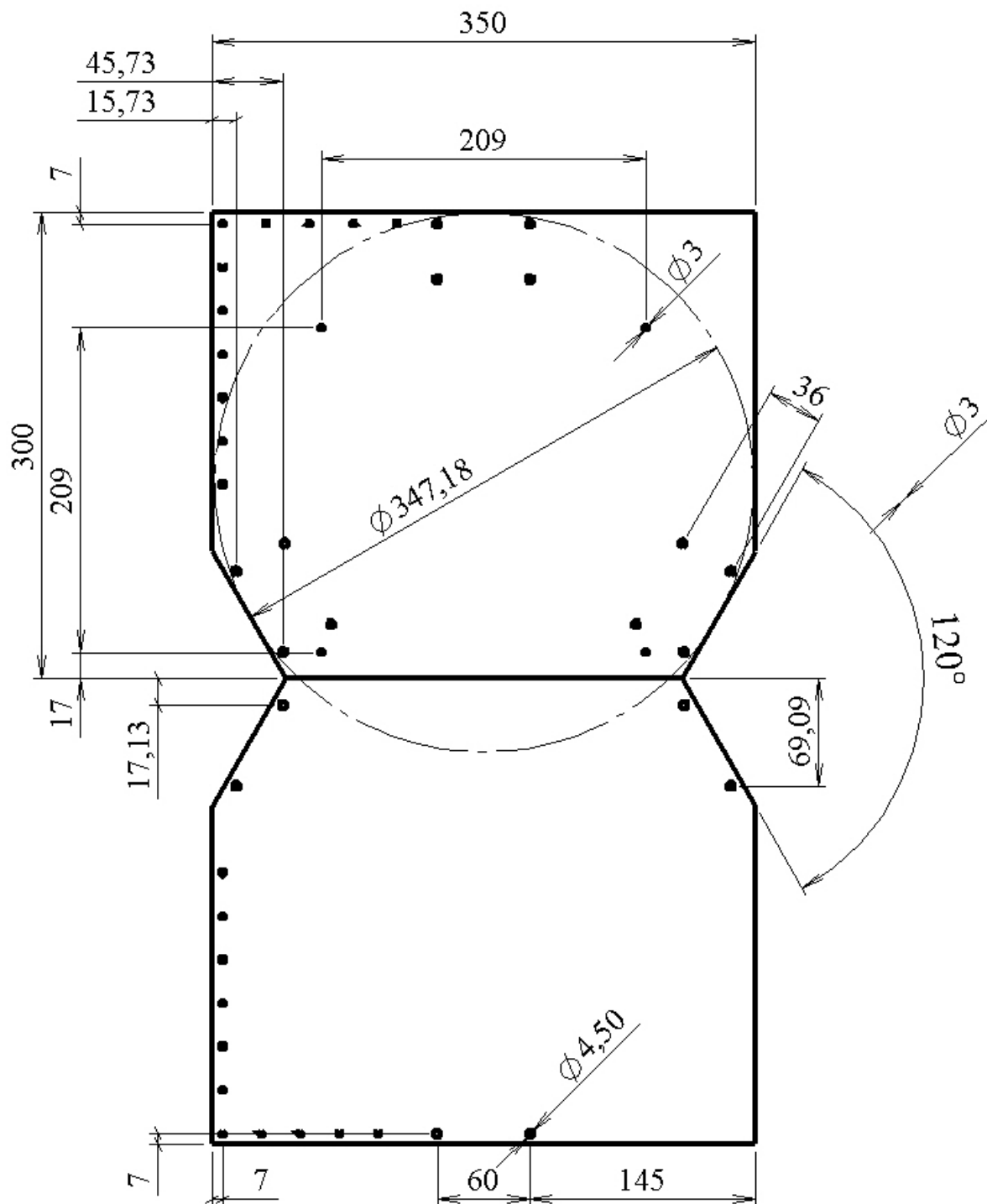


Figura 72 Detalles planos de cortes contrachapados.

La pieza inferior tiene dos grupos de taladros: por un lado 4 taladros de M3 para la instalación de la base calorífica y por otro lado 12 taladros de M4 para la instalación de las 3 piezas imprimibles *Final motor*.

En ambas piezas se deben realizar además los taladros destinados a su unión con los contrachapados laterales, tienen un diámetro de 3 mm para poder introducir bridas de ancho 2.5 mm.

5.2.2.2 Preparación de varillas

Cada varilla está unida a dos piezas imprimibles del tipo *Mandíbula*. El fondo de los agujeros de las piezas impresas donde apoyan las varillas no son superficies lisas por lo que no tienen una medida exacta. Sin embargo la medida entre los ejes que señalan las líneas auxiliares de cota de la Figura 73 debe ser igual para todas las varillas.

Teóricamente, según el diseño realizado en este proyecto para una varilla de diámetro 5 mm, la distancia desde el eje hasta esta superficie es de 13 mm (Figura 74). Teniendo en cuenta que se repite en ambos extremos, la longitud de corte buscada se obtiene con la diferencia de dos veces este valor a la distancia entre ejes:

$$\text{Longitud de corte} = 250 \text{ mm} - (2 \times 13 \text{ mm}) = 224 \text{ mm} \quad (8)$$



Figura 73. Ensamblaje de varilla con Mandíbula.

En la práctica, la longitud de la varilla debería ser un algo menor de lo que sería necesario para obtener los 250 mm exactos (Figura 73). Midiendo la distancia desde la superficie del fondo del agujero al eje de la pieza *Mandíbula*. Aplicando el valor medido, por ejemplo 10 mm, en la ecuación se obtiene la longitud de corte práctica:

$$\text{Longitud de corte} = 250 \text{ mm} - (2 \times 10 \text{ mm}) = 230 \text{ mm} \quad (9)$$

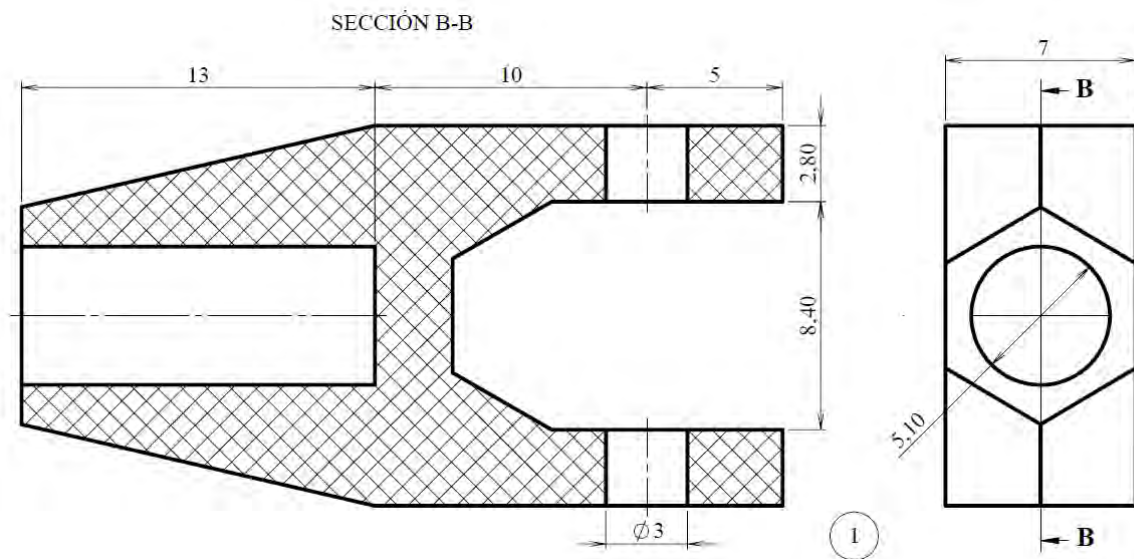


Figura 74. Detalle del plano de la pieza Mandíbula.

Una vez realizado el corte se deberá lijar la superficie resultante para eliminar aristas cortantes o, en el caso de la fibra de vidrio, astillas que se generan. Las astillas de la fibra de vidrio deben ser lijadas en sentido favorable a la fibra, si se hace al contrario la varilla se astilla dejando un vacío en el diámetro exterior.

5.2.2.3 Ensamblaje de varilla con extremos (*Mandíbula*)

Para lograr obtener la medida correcta se hacen dos taladros en una madera, separados sus centros 250 mm y se fijan dos tornillos de M3 acompañados, cada uno, de dos arandelas y una tuerca (Figura 75).



Figura 75. Útil para longitud de varillas.

Una vez se tienen los componentes a unir, se necesita un pegamento que tarde en solidificar, al menos, el tiempo que se emplea en ajustar los ejes en los tornillos. Lo ideal es un pegamento cuyo tiempo de secado supere los 30 segundos. En este caso se utilizó el que se tenía disponible, etilcianoacrilato (super glue-3), que seca en muy poco tiempo y es muy probable que se fije en una medida no deseada. Una de las varillas se fijó con una medida mayor y para enmendarlo hubo que

romper la pieza *Mandíbula* y pegarla después para volver a intentar alcanzar la medida correcta (Figura 76).



Figura 76. Rectificación medida de la varilla.

El proceso para ajustar la longitud de las varillas es el siguiente: Poner el pegamento en un extremo y pegar la primera de las *Mandíbulas*. Una vez asegurada la unión, hacerlo con el otro extremo que será el que alcanzará la medida final insertando los tornillos M3 por los ejes de las mandíbulas. Este paso hay que realizarlo con la máxima precisión y velocidad posible si se realiza con el pegamento etilcianoacrilato. De esta manera además se asegura el paralelismo entre los ejes dispuestos para el anclaje de las piezas *Mandíbulas* (Figura 77).



Figura 77. Varillas ajustadas en longitud.

5.2.2.4 Preparación de barras lisas

El proceso de preparación depende de cómo se reciban las barras lisas. Si se adquieren barras más largas, de un metro por ejemplo, será necesario cortarlas y limar las aristas. Ayuda al montaje que todas las barras tengan la misma longitud para que se puedan utilizar como medida de referencia. También es recomendable

limpiar la suciedad que puedan tener del proceso de fabricación con un trapo y un disolvente apolar (Figura 78).



Figura 78. Preparación de barras lisas.

5.2.2.5 Preparación de tornillería

En este paso se debe comprobar que la tornillería es la correcta en métrica, longitudes de tornillos y cantidades de tornillos, tuercas y arandelas.

5.2.2.6 Montaje de la base, la estructura superior y barras lisas

En este apartado se van a describir los pasos a seguir para montar la estructura principal de la impresora, el cuerpo que permitirá fijar el tren de movimiento, el conjunto extrusor y finalmente los componentes caloríficos.

Se realiza a través de una serie de pasos presentados a modo de manual de construcción. La estructura de la impresora está formada, en primer lugar, por las tres piezas *Final motor* que soportan el peso y proporcionan estabilidad. En cada una de estas piezas se instalan: los motores que moverán el cabezal, la base de contrachapado y las seis barras lisas. Sobre las barras lisas, en su extremo opuesto, se instalan las tres piezas *Final rodamiento*. Y a su vez sobre éstas el contrachapado de la parte superior. A ambos contrachapados se les dota de estabilidad y se asegura su paralelismo uniéndolos a los contrachapados laterales.

Para facilitar el montaje se realizan pasos intermedios para ahorrar tiempo en el montaje, separando cada paso a dar y especificando los elementos que son necesarios para realizarlo. Los pasos previos se dará por supuesto que son necesarios para los siguientes.

Paso 1. Fijar poleas en los motores.

- Elementos necesarios:
- 3x Motor NEMA17.
 - 3x Poleas T2.5.
 - 3x Tornillo fijador M3 (incluidos con las poleas).
 - Llave Allen 1.5.

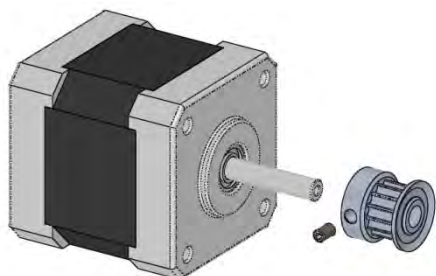


Figura 79. Componentes Paso 1.

En la Figura 80 se coloca, en el taladro roscado de la polea, el tornillo fijador para que una vez insertado en el eje del motor simplemente tenga que ajustarse con la llave Allen.

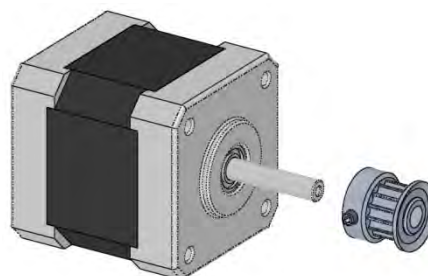


Figura 80. Posicionar tornillo fijador.

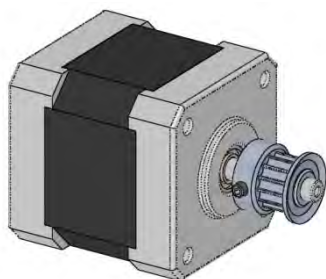


Figura 81. Polea en eje motor.

En la Figura 82 se muestra la polea completamente fijada al eje del motor. La llave Allen utilizada es la de 1.5 que es muy fina y debe realizarse un apriete con medida. Con que se realice la fuerza justa es suficiente, de lo contrario se marcará el eje del motor. No es perjudicial para el eje del motor pero no es necesario ejercer una gran fuerza.

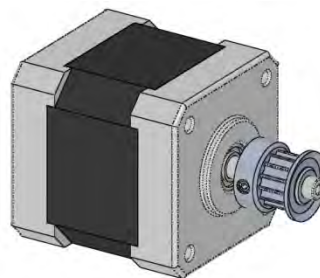


Figura 82. Polea fija en motor.

Paso 2. Fijar motores en las piezas impresas *Final motor*.

- Elementos necesarios:
- 3x *Final motor*.
 - 4x Tornillo M3x10 mm.
 - 4x Arandela M3.
 - Llave Allen 2.5.

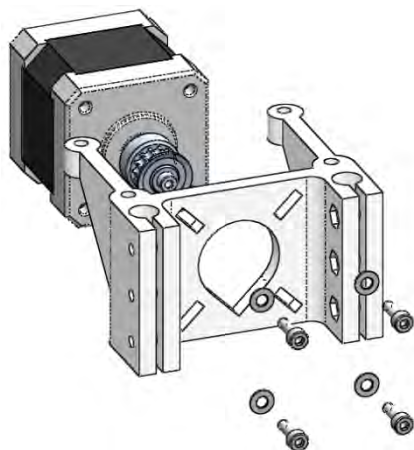


Figura 83. Componentes Paso 2.

En la Figura 84 se posiciona la pieza *Final motor* sobre el ensamblaje realizado en el Paso 1. El motor tiene 4 cables que salen de uno de sus laterales, es importante posicionar estos cables de forma que se sitúen en la parte derecha o en la izquierda de la figura mostrada. En la parte superior no hay suficiente espacio debido a la base del contrachapado y en la inferior estarán presionados por la superficie donde se apoye la impresora.

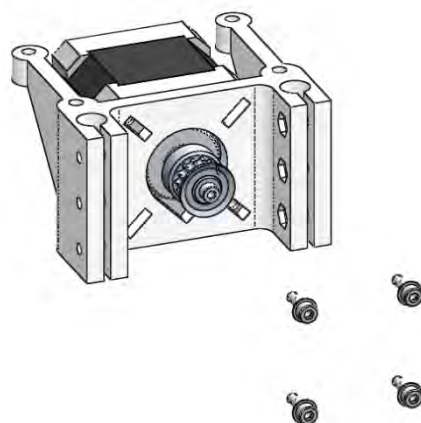


Figura 84. Posicionar *Final motor* en motor.

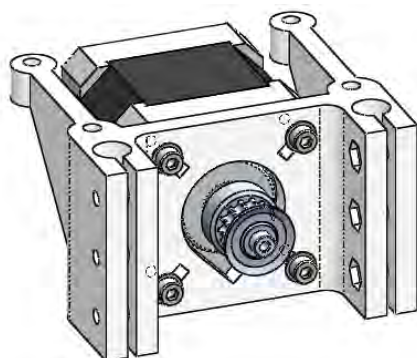


Figura 85. Fijar motor en *Final motor*.

En la Figura 85 se muestra el conjunto completamente ensamblado. No es necesario realizar un apriete muy fuerte de los tornillos ya que podrían doblar las arandelas. La llave utilizada para el roscado de los tornillos es una Allen 2.5 si son de cabeza cilíndrica y Allen 2 si son de cabeza cónica. Ambas huecas hexagonales (Allen).

Paso 3. Fijar piezas *Final motor* en el contrachapado inferior.

- Elementos necesarios:
- Contrachapado inferior cortado y taladrado.
 - 6x Tornillo M4x30 mm.
 - 6x Tornillo M4x25 mm.
 - 18x Arandela M4.
 - 6x Tuerca M4.
 - Llave Allen 3.
 - Alicates.

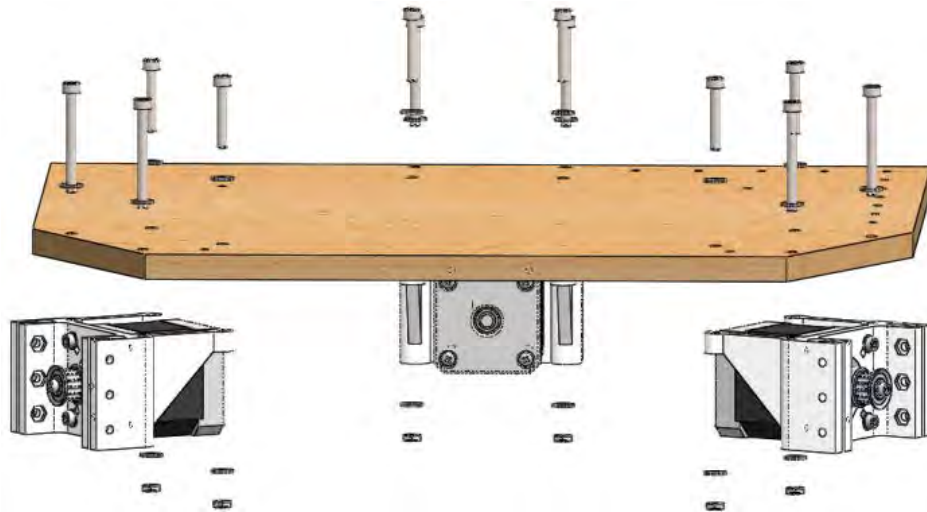


Figura 86. Componentes Paso 3.

En la Figura 86 se presentan los componentes que forman este paso número 3. En la parte superior se orientan los tornillos con sus arandelas y en la inferior las tuercas y arandelas que fijan el tornillo de longitud 25 mm.

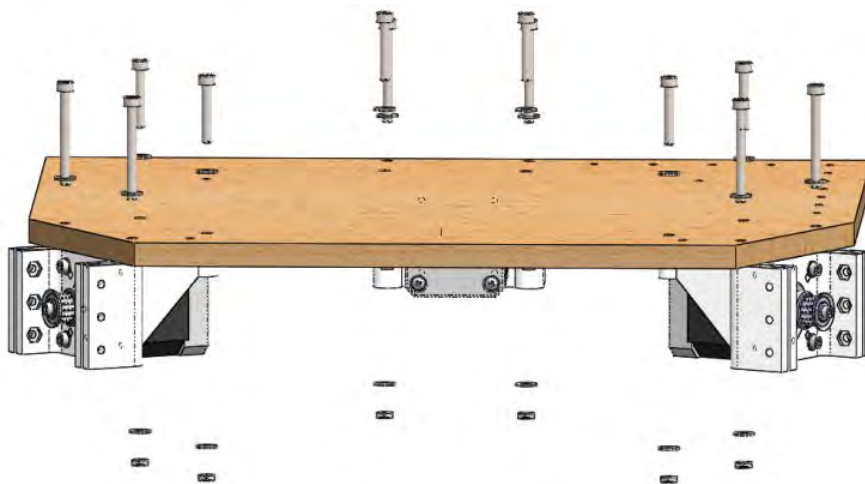


Figura 87. Apoyo de contrachapado inferior en Final motor.

En la Figura 87 se muestra el apoyo del contrachapado en la pieza imprimible.

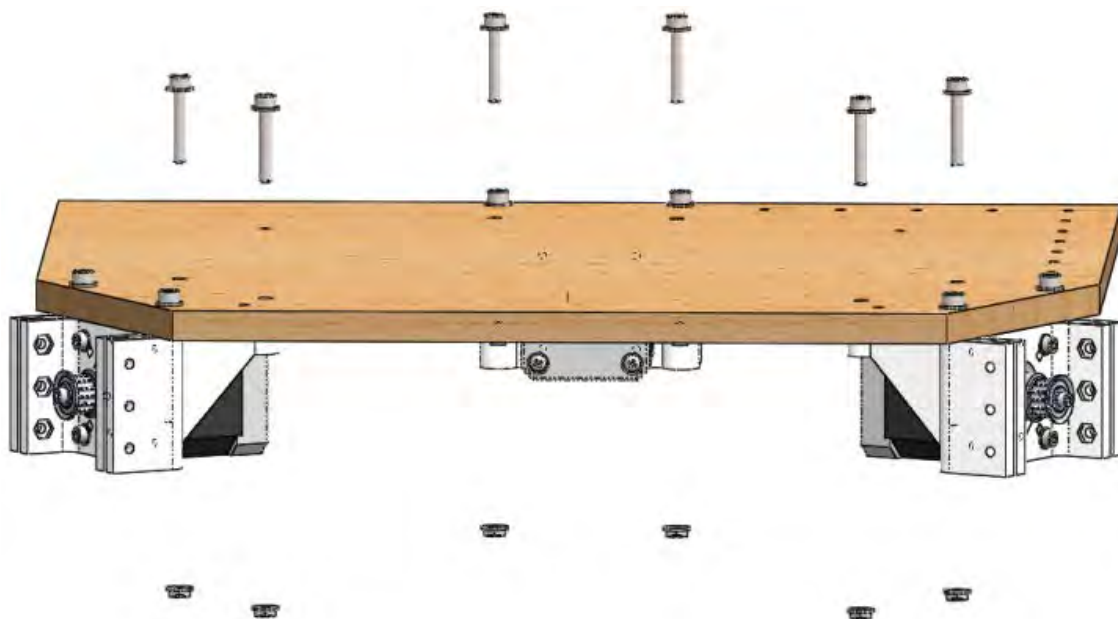


Figura 88. Fijado tornillos M4x30mm.

Los tornillos enroscados en la Figura 88 crean la rosca en el plástico del agujero de la pieza. Por este motivo el diámetro interior debe ser algo menor de 4 mm ya que no existe posibilidad de poner una rosca en la base de la impresora.

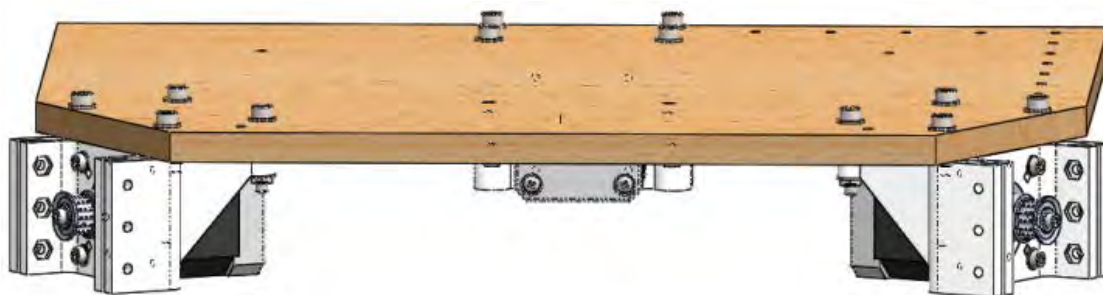


Figura 89. Fijado tornillos M4x25mm.

Para finalizar este paso (Figura 89) se fijan los tornillos, con la ayuda de las tuercas y sus respectivas arandelas, en los agujeros interiores del contrachapado. Asegurando así el paralelismo de la pieza con el contrachapado y la perpendicularidad de los diámetros donde se van a instalar las barras lisas.

Para el apriete de las tuercas se necesita unos alicates para asegurar su posición mientras con la llave Allen se enrosca el tornillo con fuerza.

Los siguientes pasos a dar son preparar las piezas *Final rodamiento* para fijarlas al contrachapado superior y preparar las barras lisas para que en cada uno de sus extremos se instalen las piezas *Final motor* y *Final rodamiento* respectivamente.

Paso 4. Fijar rodamientos en *Final rodamiento*.

- Elementos necesarios:
- 3x Rodamientos 608ZZ.
 - 3x Interruptor final de carrera.
 - 3x *Final rodamiento*.
 - 3x Tornillo M8x35mm.
 - 9x Arandela M8.
 - 1x Tuerca M8.
 - 2x Tornillo M2x10mm.
 - Llave Allen 6.
 - Llave Allen 1.5.
 - Alicates.

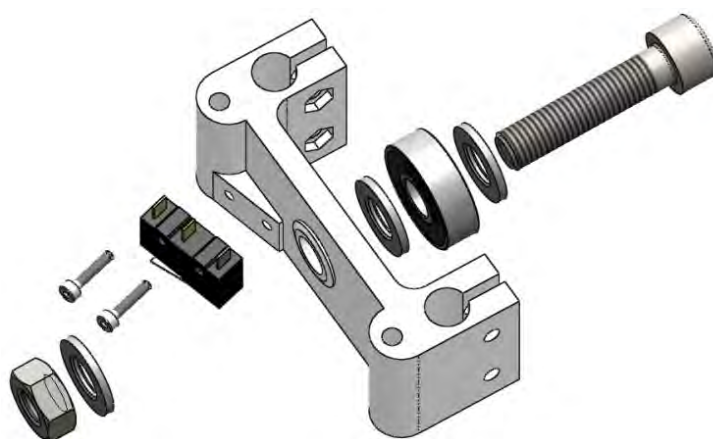


Figura 90. Componentes Paso 4.

En la Figura 90 aparecen los elementos necesarios para llevar a cabo este paso. En este proyecto no se han utilizado los tornillos M2 para fijar el interruptor final de carrera, se ha fijado con pegamento el interruptor a la superficie inclinada 15°.

En la Figura 91 se muestra cómo queda fijado el interruptor final de carrera en la superficie inclinada. Además se puede observar la inclinación de 2° de la superficie donde apoyan las arandelas interiores para que se transmita al rodamiento. El agujero de la pieza tiene la misma inclinación. La funcionalidad es la de evitar que la correa que apoya en el rodamiento se desplace durante el funcionamiento y se desenganche. De esta forma se mantiene segura en su posición correcta.

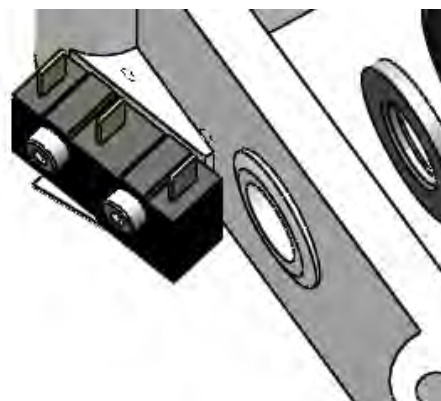


Figura 91. Fijar interruptor fin carrera.

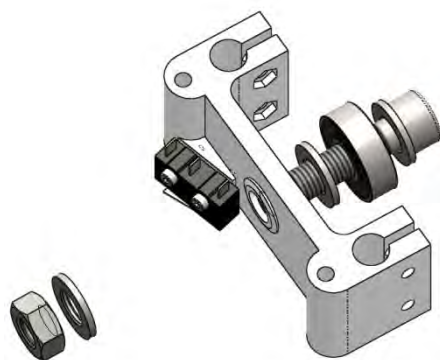


Figura 92. Método montaje rodamiento.

En la Figura 92 se muestra el montaje del rodamiento. Ambas arandelas de cada lado presionan sobre la carcasa del diámetro menor manteniéndolo fijo. Este método da más libertad de movimiento al rodamiento que si se fijara sin estas arandelas. Sin embargo es posible hacerlo sin ellas pero se debe tener cuidado con la presión que se ejerce en el apriete del tornillo y la tuerca.

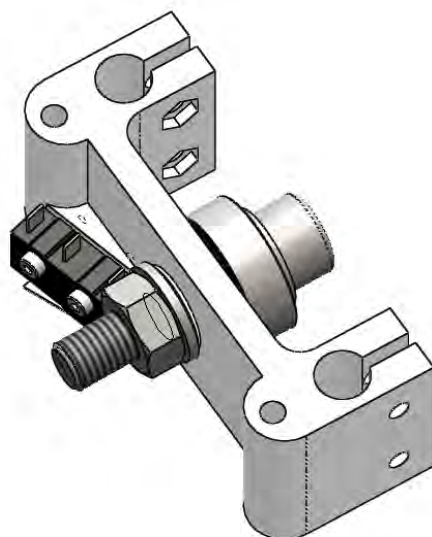


Figura 93. Montaje Final rodamiento completo.

En la Figura 93 se muestran todos los componentes completamente ensamblados. Para este último paso es necesario hacer presión sobre la tuerca con unos alicates y apretar el tornillo con una llave Allen 6.

Una vez realizado el proceso mostrado en este paso número 4 en las tres piezas *Final rodamiento*. El siguiente paso es fijarlas a la pieza de contrachapado cortada para la parte superior de la impresora.

Paso 5. Fijar piezas *Final rodamiento* en el contrachapado superior.

- Elementos necesarios:
- Pieza preparada de contrachapado superior.
 - 6x Tornillo M4x40 mm.
 - 6x Arandela M4.
 - Llave Allen 3.

En este paso se describe el montaje de una de los conjuntos completados en el paso previo. Finalmente se debe realizar el mismo proceso con las otras piezas *Final rodamiento* para poder finalizar este paso. Las Figuras Figura 98, Figura 99 y Figura 100 muestran el resultado del montaje de las tres piezas.

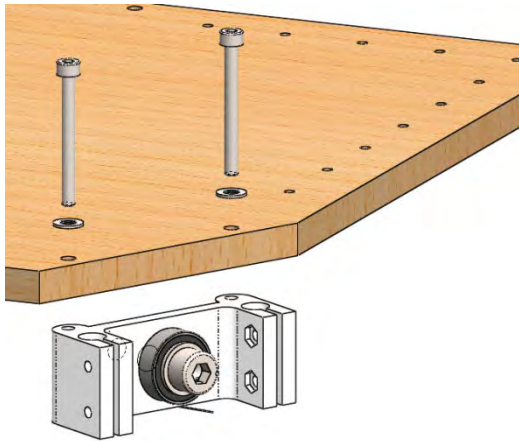


Figura 94. Componentes Paso 5.

En la Figura 95 se orienta la pieza *Final rodamiento* con los agujeros del contrachapado. Los agujeros de la pieza impresa han de haberse impreso con un diámetro que permita realizar una rosca sobre el plástico según se vaya introduciendo el tornillo. No es necesario utilizar tuercas por tanto y si el contrachapado tiene un espesor mayor quedará fijado perfectamente.

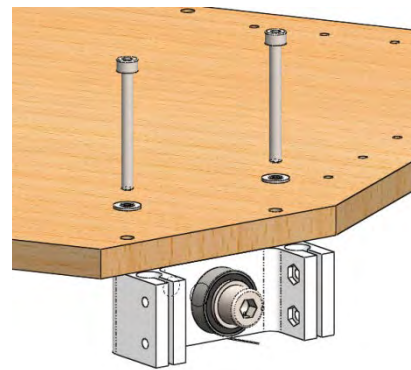


Figura 95. Orientar Final rodamiento.

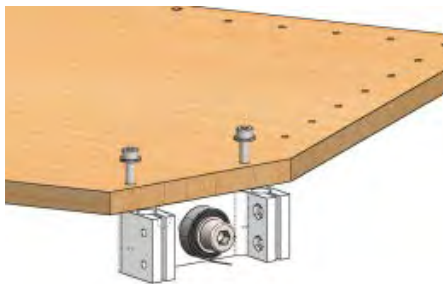


Figura 96. Roscado en Final rodamiento.

En la Figura 97 se muestra la pieza totalmente fijada al contrachapado. Es necesario realizar este proceso en las tres piezas. El apriete en este caso debe efectuarse con fuerza, la longitud de tornillo introducida en la pieza es la suficiente para poder dar un apriete que asegure el apoyo completo entre ambos elementos.

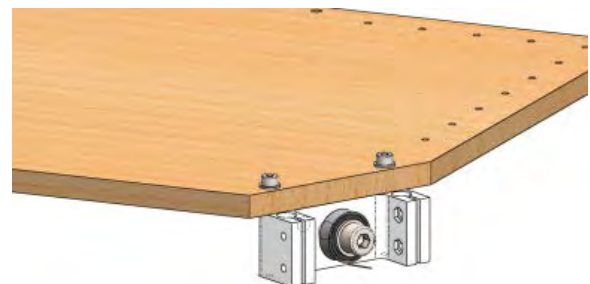


Figura 97. Final rodamiento fijado.

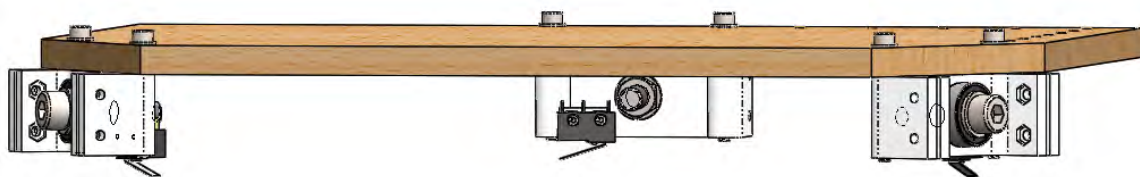


Figura 98. Vista 1 conjunto superior de la estructura.

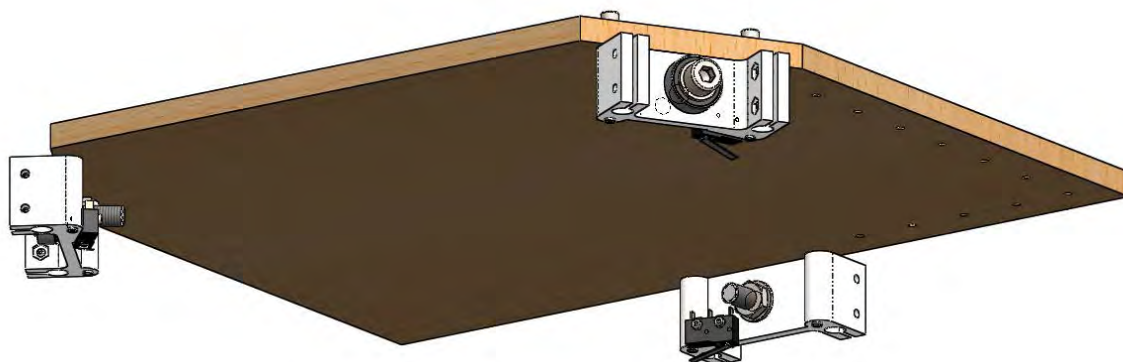


Figura 99. Vista2 conjunto superior de la estructura.

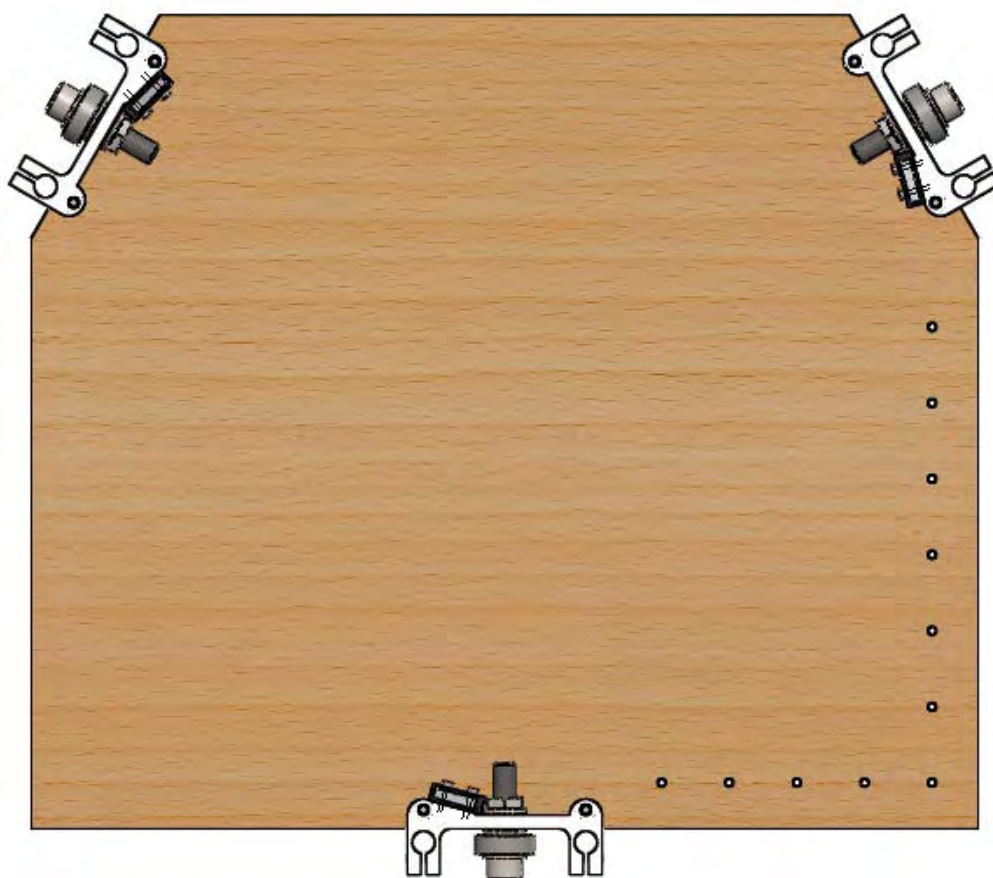


Figura 100. Vista 3 conjunto superior de la estructura.

Paso 6. Introducir rodamientos en barras lisas.

- Elementos necesarios:
- 6x Barras lisas 762x8mm.
 - 6x Rodamientos lineales LM8UU.



Figura 101. Conjunto barras lisas con rodamientos lineales.

Este paso es muy simple, consiste en introducir un rodamiento lineal en cada una de las barras lisas (Figura 101). La preparación previa de las barras lisas va a ayudar a este montaje. En caso de existir alguna arista cortante en los extremos cortados de las barras puede dañar los rodamientos haciendo que las bolas de acero que contienen se suelten en el momento del montaje o durante el funcionamiento de la máquina produciendo ruidos y vibraciones.

Paso 7. Montaje de conjunto de barras lisas en los conjuntos inferior y superior.

- Elementos necesarios:
- 30x Tornillo M3x16mm.
 - 30x Arandela M3.
 - 30x Tuerca M3.
 - Llave Allen 2.5.

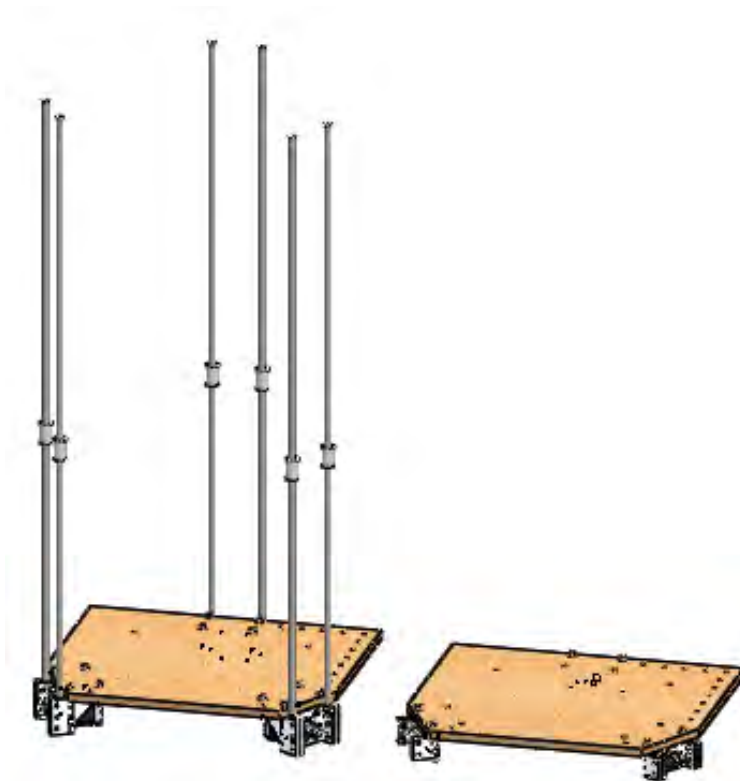


Figura 102. Preparación colocación conjunto superior.

En este paso 7, en primer lugar, se deben insertar las barras con los rodamientos en el conjunto inferior tal y como se muestra en la Figura 102. A continuación se fijan las barras a las piezas *Final motor* de forma que los extremos inferiores coincidan con la altura inferior de la pieza. De esta manera se logra que la base sea uniforme y tengamos la altura de las barras como referencia.

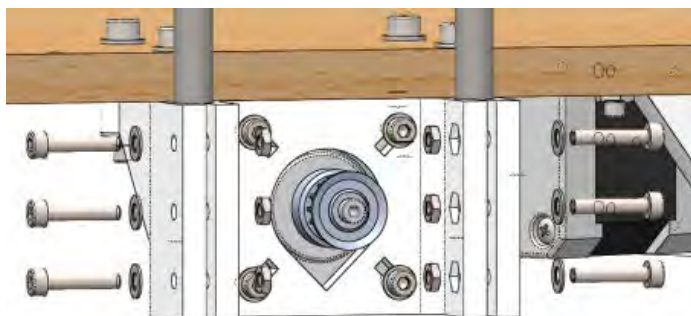


Figura 103. Componentes fijado inferior de barras.

La pieza *Final motor* dispone de huecos hexagonales para alojar las tuercas. En este caso no es necesario el uso de alicates. Si la tuerca tiene holgura en el hueco, es más cómodo realizar el proceso completo por cada agujero.

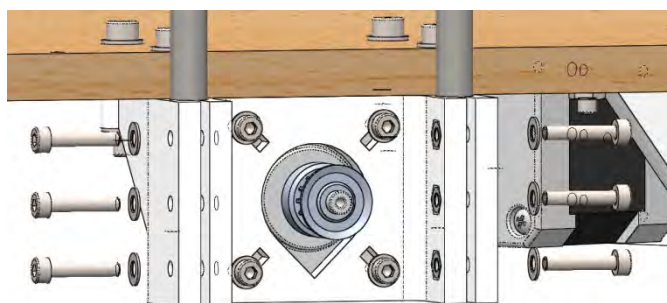


Figura 104. Colocar tuercas en Final motor.

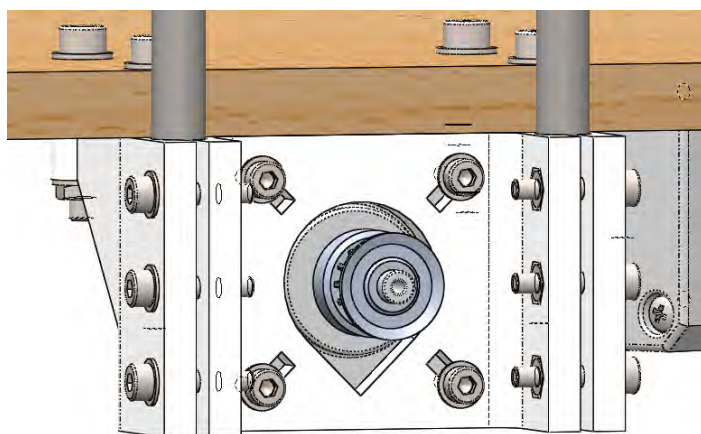


Figura 105. Apriete de tornillos para sujeción de barras.

En la Figura 105 aparece la tornillería completamente instalada fijando la posición de la barra. Debe ejercer fuerza para mantener la posición pero si se ejerce una presión excesiva puede resquebrajarse la pieza abriéndose en las uniones de las capas formadas durante la impresión de la misma.

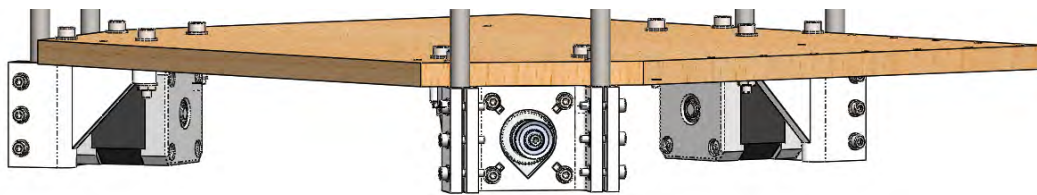


Figura 106. Proceso de fijación inferior de barras completado.

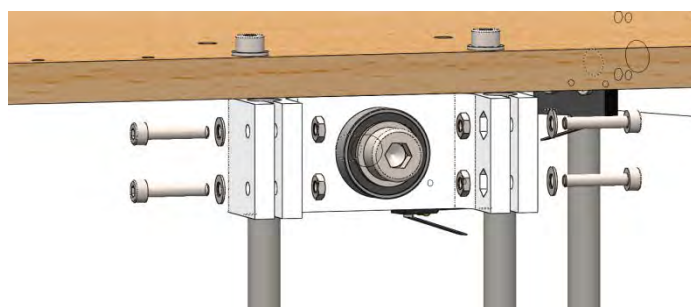


Figura 107. Componentes fijado superior barras.

En la Figura 107 se muestran los componentes utilizados para fijar las dos barras que corresponden a cada *Final rodamiento*.

La pieza *Final rodamiento* también dispone de huecos hexagonales para alojar las tuercas. El proceso es el mismo que para la pieza *Final motor*.

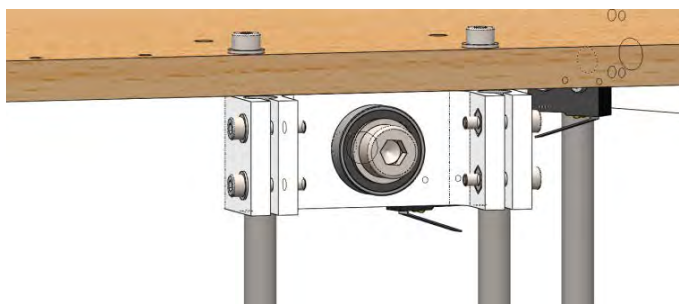


Figura 108. Barras fijadas en Final rodamiento.

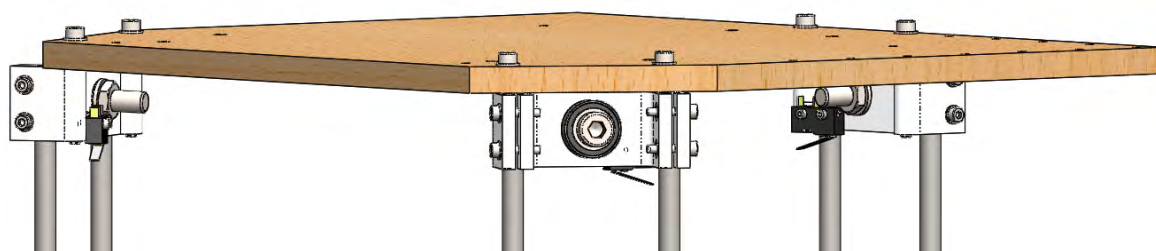


Figura 109. Proceso de fijación superior de barras completado.

Para que la estructura principal esté completa es necesario fijar los contrachapados laterales. Debido a que las torres están situadas a 120° entre sí los laterales que se van a colocar se han cortado con diferentes anchos. El más estrecho se coloca en el lateral donde se sitúa la torre central y el ancho en el otro lateral donde se encuentran los taladros que se pueden observar tanto en la pieza inferior como en la superior de contrachapado. La primera tiene un ancho de 130 mm y la segunda de 200 mm. La forma de colocarlas se muestra en el siguiente paso.

Paso 8. Montaje de los contrachapados laterales.

- Elementos necesarios:
- Contrachapado lateral de 772 x 200 mm.
 - Contrachapado lateral 772 x 130 mm.
 - Bridas 2.5 x 100mm.

La posición de unión de los contrachapados laterales se muestra en las siguientes figuras.

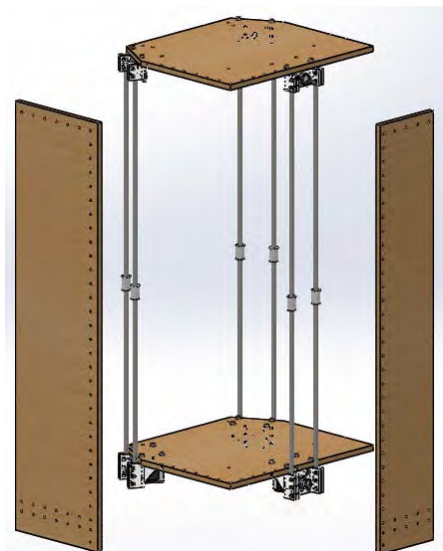


Figura 110. Refuerzos laterales de la estructura.

En la Figura 110 aparecen los contrachapados laterales orientados según su colocación.

En la Figura 111 la imagen de la izquierda se ha colocado la primera pieza lateral, cubre la sección de la pieza de contrachapado superior. La segunda pieza se coloca cubriendo tanto la sección de la pieza superior como la del contrachapado lateral.

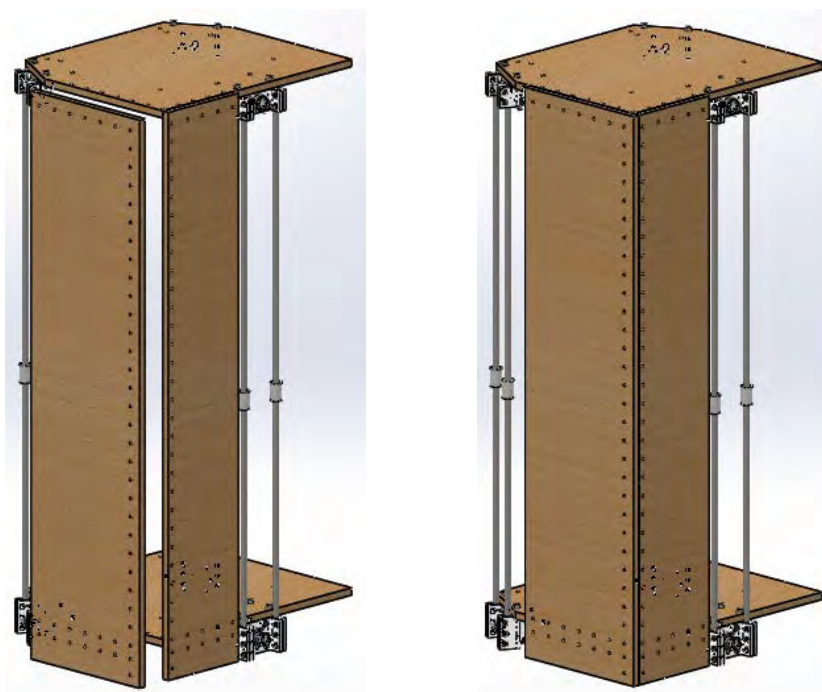


Figura 111. Ensamblaje de contrachapados laterales.

Tras este paso se obtiene un aumento de la estabilidad en la estructura. Los taladros previos son para fijar las maderas con bridas, no es imprescindible hacerlo de esta manera. La impresora Rostock original une estas piezas de esta forma.

Si se quiere utilizar este método se encuentran disponibles las medidas en el documento Planos. Es preciso tener en cuenta que las distancias marcadas son para un espesor de contrachapado de 10 mm y los taladros tienen un diámetro de 3 mm para bridas de 2.5 mm de ancho. En la Figura 112 se muestra el montaje de las bridas en esta impresora.

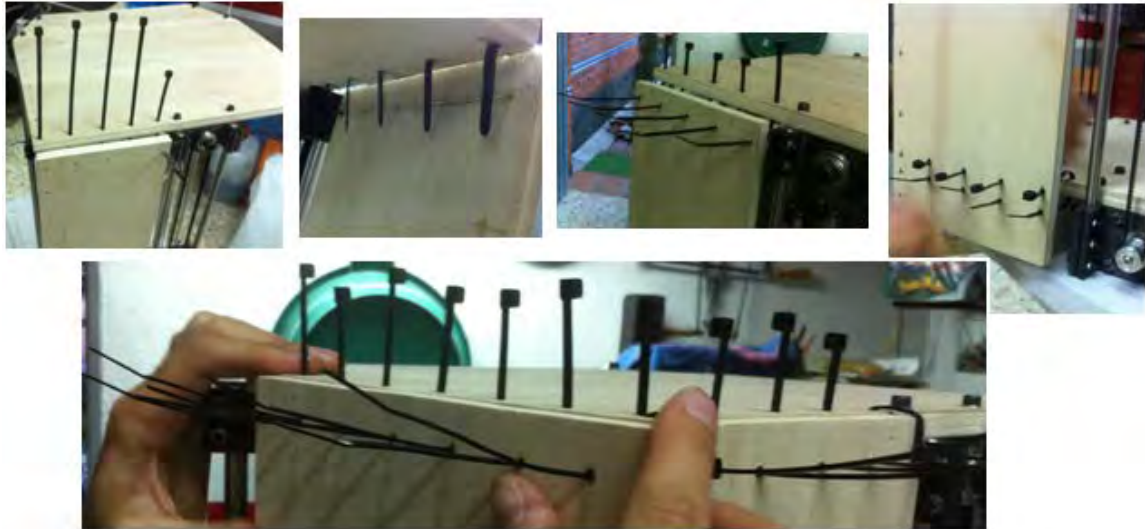


Figura 112. Fijación de contrachapados con bridas.

Al unir los contrachapados laterales con las bridas se corrige la posición de los contrachapados superior e inferior situando a su vez las barras lisas en una posición completamente vertical.

5.2.2.7 Montaje del conjunto móvil

Siguiendo el formato del apartado anterior. En este apartado se describen los pasos a seguir para el montaje de la parte móvil de la impresora. El conjunto móvil que aquí se presenta se compone de las piezas imprimibles *Carro*, *Plataforma*, *Junta*, *Mandíbula* y *Final bowden*. También se enumeran todas las vitaminas que se encuentran asociadas a cada una de las piezas imprimibles.

En primer lugar se muestra la preparación necesaria del conjunto que forman la pieza *Carro*, con la pieza *Junta*. Se continúa con el que forman la *Plataforma* con la *Junta*. Una vez ensamblados estos conjuntos se pueden introducir los elementos asociados a la *Plataforma* para insertar el final caliente que precisa de varias vitaminas y la pieza *Final bowden*. A continuación se forman las juntas universales que surgen por la unión de los extremos de las *Mandíbulas* con las *Juntas* ya instaladas en los *Carros* y en la *Plataforma*. Para finalizar es necesario fijar los *Carros* a los rodamientos lineales que se deslizan por las barras lisas y unirlos a las tres correas que transmiten el movimiento de los motores.

Paso 9. Ensamblaje de la pieza *Carro* con la pieza *Junta*.

- Elementos necesarios:
- 3x *Carro*.
 - 6x *Junta*.
 - 12x Tornillo M3x10mm.
 - 3x Tornillo M3x16mm.
 - 12x Arandela M3.
 - 12x Tuerca M3.
 - Llave Allen 2.5.

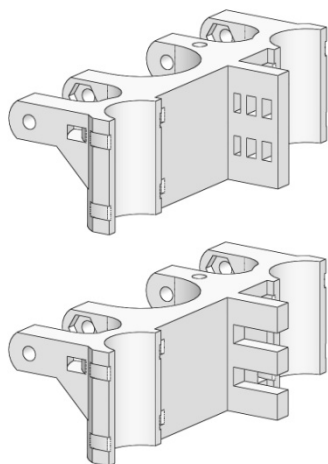


Figura 113. Preparación *Carro*.

La pieza *Carro* requiere de una preparación previa. La correa de transmisión debe poder fijarse a cada uno de ellos. El diseño dispone de una estructura para poder hacerlo pero para poder ser impresa debe tener una estructura de rejilla. Ésta se muestra en la imagen superior de la Figura 113.

Lo que se necesita son dos ranuras para hacer pasar la correa por ellas. Se puede realizar el corte del plástico impreso sobrante con un cúter. Para que el corte sea más sencillo y con un mejor acabado es recomendable calentarlo previamente. El resultado se muestra en la imagen inferior de la Figura 113.

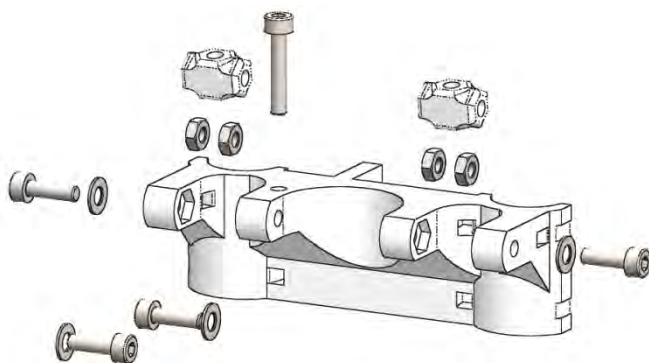


Figura 114. Componentes ensamble *Carro* con *Junta*.

En la Figura 114 se muestran los componentes utilizados para fijar las dos piezas *Junta* que se ensamblan en cada *Carro*.

En primer lugar se colocan las dos tuercas de uno de los lados en sus respectivos huecos (Figura 115). A continuación los tornillos, con las arandelas colocadas, se enroscan hasta llegar al final de la rosca de la tuerca. Después se va a colocar la pieza *Junta* y en caso de enroscar más los tornillos no será posible introducirla.

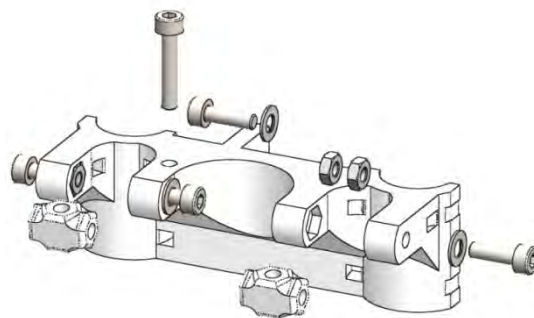


Figura 115. Colocación de tuercas en *Carro*.

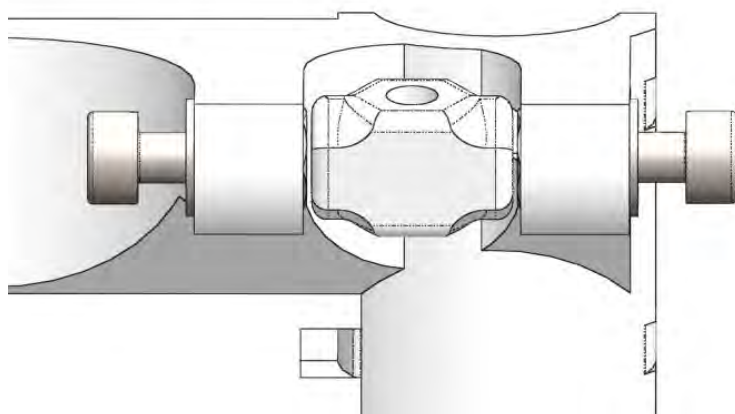


Figura 116. Apriete de tornillos para colocación de Junta.

En la Figura 117 se observa el proceso de montaje. Primero ha de fijarse un lado y una vez completo iniciar el montaje del otro.

El diámetro interior de la Junta no es recomendable agrandarlo, si se crea rosca no es un inconveniente. El movimiento que tendrá durante el funcionamiento de la máquina lo hará desaparecer. De esta forma se asegura que no existan holguras indeseadas.

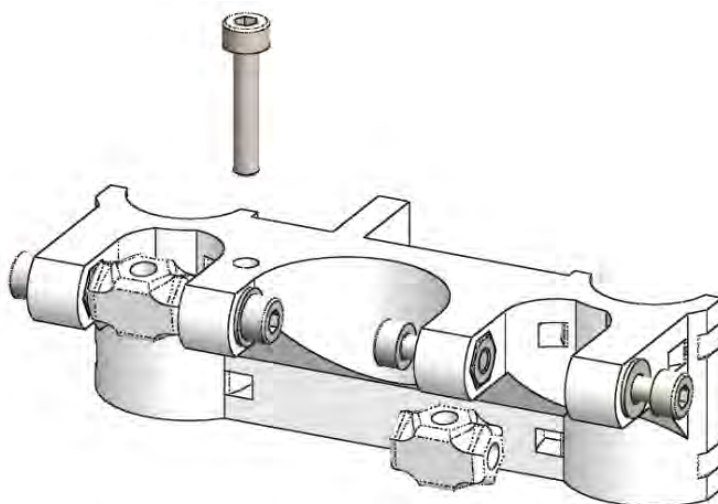


Figura 117. Colocación Junta en Carro.

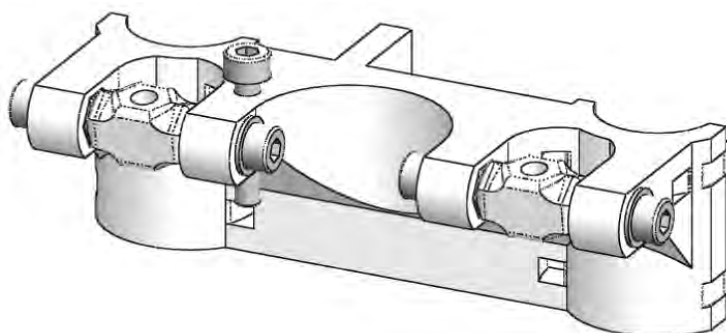


Figura 118. Ensamble Carro-Junta completado.

En la Figura 116 se muestra la posición de los tornillos al introducir la Junta. Una vez el eje de la pieza coincide con el eje de los tornillos se aprietan completamente. Los tornillos quedarán en el interior y serán el eje de la Junta.

En la Figura 118 aparece el conjunto completo. Se ha fijado el tornillo de longitud 16 mm, encargado de activar el interruptor final de carrera, que se encuentra montado en la parte superior de la impresora, en la pieza Final rodamiento.

Paso 10. Ensamblaje de la pieza *Carro* con la pieza *Junta*.

- Elementos necesarios:
- 1x *Plataforma*.
 - 6x *Junta*.
 - 12x Tornillo M3x10mm.
 - 12x Arandela M3.
 - 12x Tuerca M3.
 - Llave Allen 2.5.

En la Figura 119 aparecen todos los elementos necesarios para preparar la pieza *Plataforma*. El proceso de montaje con la pieza *Junta* es el mismo que se ha realizado en el paso anterior, motivo por el cual no se va a volver a describir el proceso.

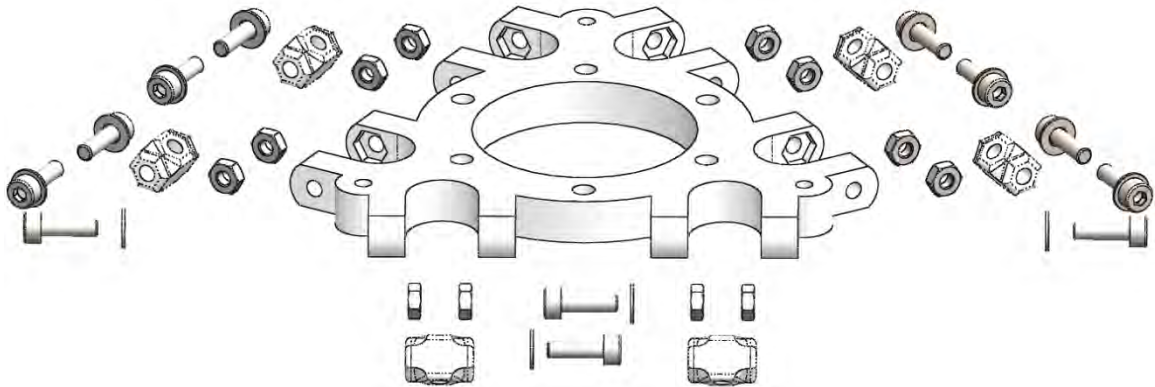


Figura 119. Componentes ensamble Plataforma – Junta.

La Figura 120 muestra el ensamble completamente realizado. Se puede observar que el resultado es el mismo que en el paso anterior.

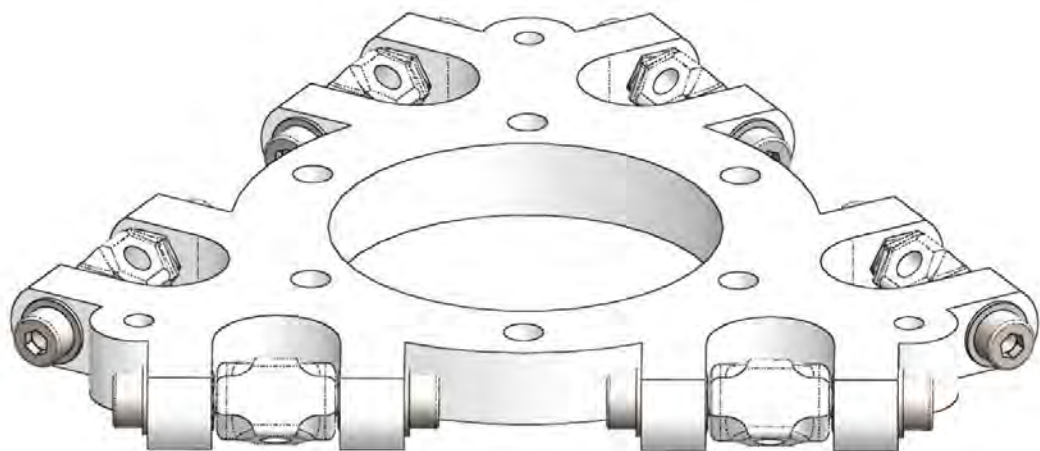


Figura 120. Ensamblaje Plataforma-Junta completo.

Paso 11. Ensamblaje de final caliente J-Head en *Plataforma*.

- Elementos necesarios:
- 1x J-Head.
 - 1x Pieza unión J-Head con *Plataforma*.
 - 1x *Final bowden*.
 - 4x Tornillo M4x20mm.
 - 2x Tornillo M4x25mm.
 - 12x Arandela M4.
 - 12x Tuerca M4.
 - Llave Allen 3.
 - Alicates.

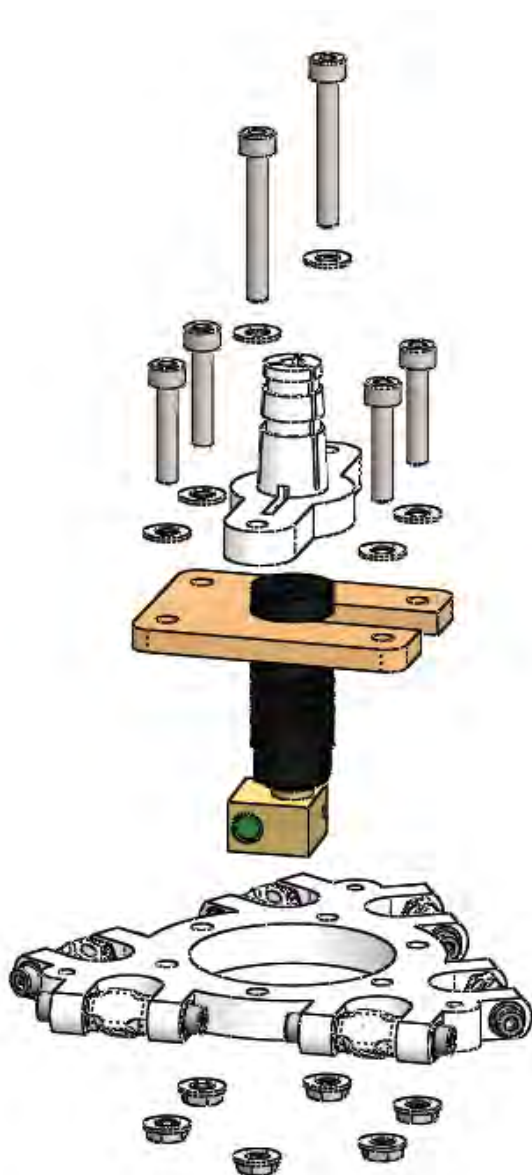


Figura 121. Componentes ensamble J-Head con *Plataforma*.

Es recomendable que antes de realizar este ensamble se instalen en la boquilla del J-Head tanto la resistencia calorífica como el termistor. Además de preparar el cableado de manera que una vez completado este paso no sea necesario desmontar el J-Head durante la construcción de la impresora.

La instalación del final caliente en la *Plataforma* no es complicada pero se recomienda hacerlo con precaución, teniendo en cuenta que los filamentos del termistor son extremadamente finos. Se rompen muy fácilmente y pueden complicar el montaje aumentando el tiempo dedicado a esta tarea.

En la Figura 121 aparecen los componentes del ensamble. En la imagen ya se ha colocado la pieza de contrachapado que permite que el final caliente J-Head pueda instalarse en la *Plataforma*.

El cableado que llega hasta la resistencia y el termistor se conduce por la abertura que se genera entre la pieza de contrachapado y el diámetro central de la *Plataforma*.

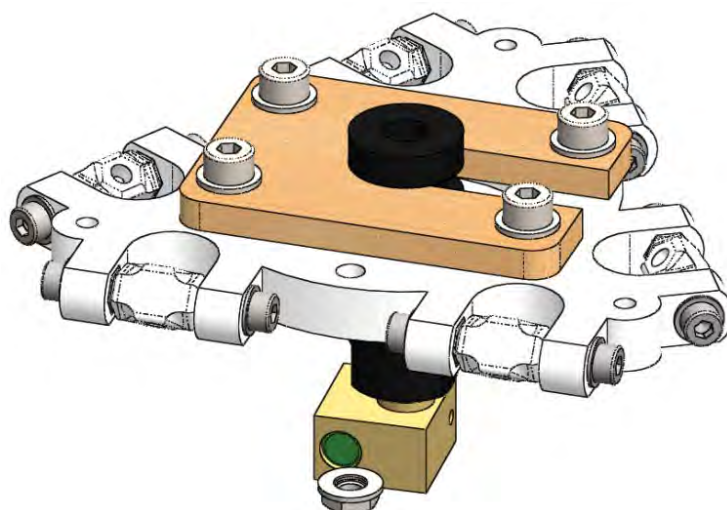


Figura 122. Colocación J-Head en Plataforma.

En la Figura 122 se observa la pieza de contrachapado instalada sobre la *Plataforma*.

Para el apriete de los 4 tornillos de 20 mm de longitud es necesaria la utilización de la llave Allen 3 y los alicates para fijar la tuerca.

Se utilizan arandelas entre la cabeza del tornillo y el contrachapado. Y entre la tuerca y el plástico en la parte inferior.

En último lugar se instala la pieza impresa *Final bowden* (Figura 123).

En este caso se utilizan 2 tornillos de 25 mm de longitud. El apriete se realiza de la misma manera que en el caso del contrachapado.

La fuerza necesaria es la justa para que la cara inferior de la pieza impresa quede a la altura de la cara superior del contrachapado.

El diámetro superior del cuerpo del J-Head debe introducirse por el diámetro inferior de la pieza *Final bowden* quedando encajado.

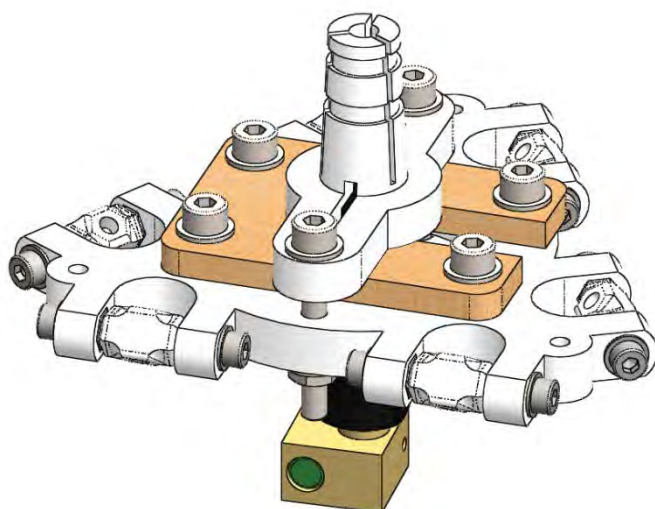


Figura 123. J-Head ensamblado en Plataforma.

Paso 12. Montaje de varillas entre *Plataforma* y *Carros*.

- Elementos necesarios:
- 6x Varillas preparadas con *Mandíbulas*.
 - 12x Tornillo M3x16mm.
 - 12x Tuerca M3.
 - Llave Allen M3.
 - Alicates.

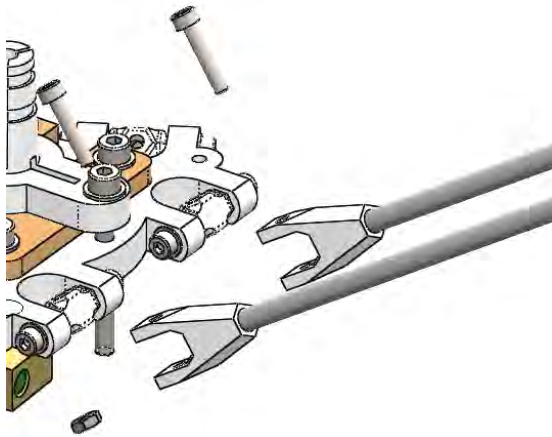


Figura 124. Presentación componentes de unión universal.

En este paso se van a realizar 12 uniones como la que se va a describir a continuación. Primeramente se realizan todas las uniones de las varillas en la *Plataforma* y una vez finalizadas se comienza con la unión de las varillas con los *Carros*.

En la Figura 124 aparecen las piezas *Mandíbulas*, ensambladas en las varillas, que serán colocadas con tornillos de M3 y longitud 16 mm de manera que cada una de ellas comparta eje con su respectiva *Junta*. La tuerca asegura que el tornillo no se mueva de esa posición.

Para este paso no se utilizan arandelas ya que el espacio para permitir el movimiento de rotación es limitado y la longitud del tornillo no puede ser mayor.

En la Figura 125 se puede observar el primer ensamblaje de una *Mandíbula* con una *Junta*. La fuerza de apriete no debe deformar la pieza *Mandíbula*. Al ser de material plástico es fácil que si se aprieta en exceso la deformación provoque presión sobre la *Junta* y dificulte la rotación.

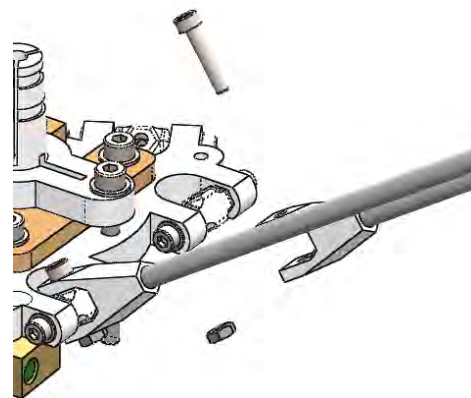


Figura 125. Primera unión completa.

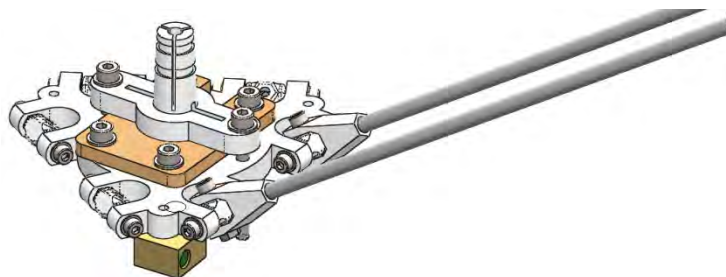


Figura 126. Varillas listas para fijarlas en el Carro.

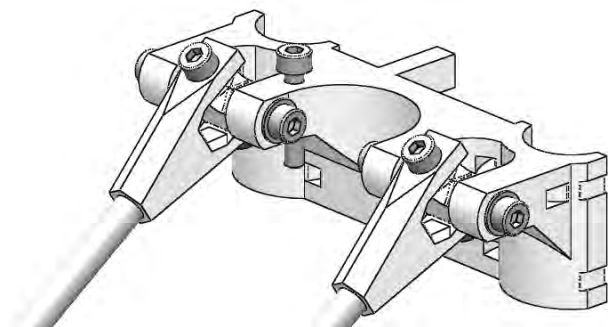


Figura 127. Unión de Mandíbulas y Juntas en Carro.

Tras realizar todas las uniones de *Mandíbula* y *Junta* en la *Plataforma* según se muestra en la Figura 126, se unen los extremos opuestos de las varillas a los carros tal y como se muestra en la Figura 127. El proceso es idéntico al descrito previamente y es preciso tener las mismas precauciones.

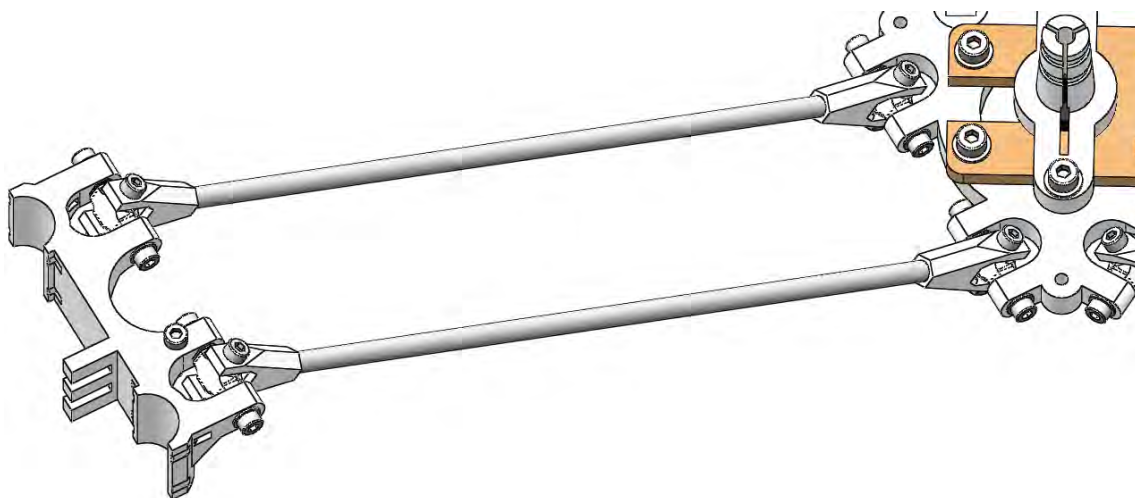


Figura 128. Brazo formado entre Plataforma y Carro.

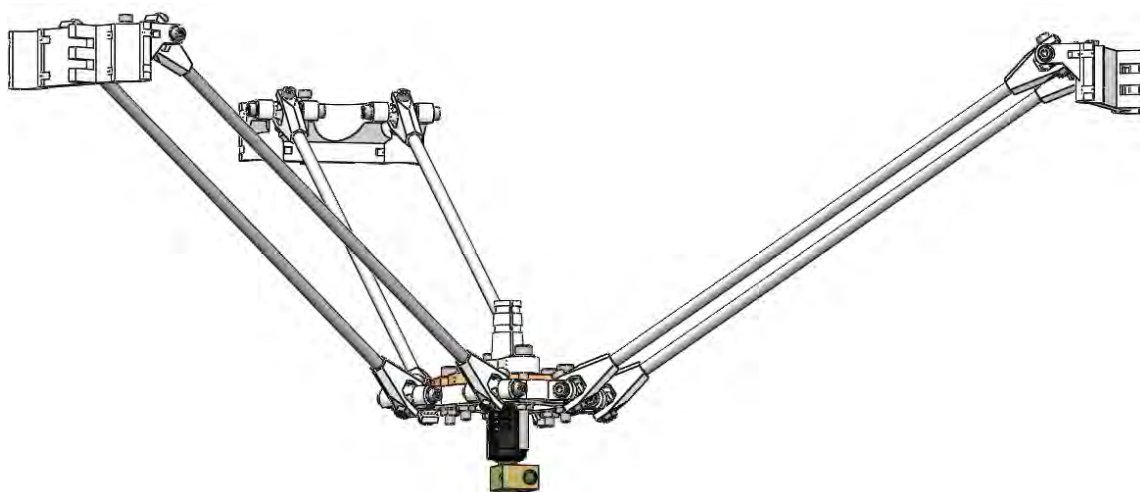


Figura 129. Conjunto móvil completamente ensamblado.

En la práctica la pieza *Junta* no tiene en todos los casos las dimensiones teóricas. Pueden encontrarse medidas en ambos anchos de la pieza por debajo de la teórica. Este factor genera holguras en los ajustes. El diseño teórico tiene un jue-

go de 0.3 mm a ambos lados cuando la *Junta* se ajusta en la *Plataforma*, este margen es probable que se elimine por la precisión de la impresora donde se imprima.

En este proyecto para solucionar este problema se han colocado arandelas que tienen un espesor de entre 0.5 y 0.7 mm (Figura 130). De esta forma se eliminan las holguras y favorece el deslizamiento al rotar la unión.



Figura 130. Detalle arandelas para eliminar holguras de las juntas.

Paso 13. Instalación del conjunto móvil en la estructura principal.

- Elementos necesarios:
- 12x Bridas.
 - Alicates.
 - Pegamento de contacto.

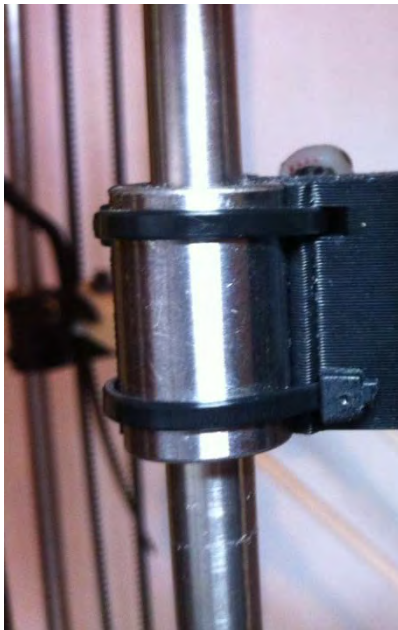


Figura 131. Instalación Carro en barras lisas.

En primer lugar se colocan las piezas *Carro* sobre los rodamientos lineales que se insertaron en las barras lisas. El montaje se realiza instalando dos bridas en cada rodamiento haciéndolas pasar por los agujeros que tienen la pieza *Carro* para tal función.

El resultado se observa en la Figura 131. Para realizar el ajuste se pueden utilizar los alicates para poder ejercer la máxima fuerza posible y acortar lo máximo posible la longitud de brida que abraza el rodamiento contra la pieza.

La arista superior del rodamiento coincide con la cara superior de la pieza y debe asegurarse esta posición. Para hacerlo se utiliza pegamento, en este caso etilcianoacrilato (Super Glue 3) en la ranura entre ambos elementos.

Paso 14. Instalación de las correas de transmisión.

Elementos necesarios:

- 3x Correa T2.5.

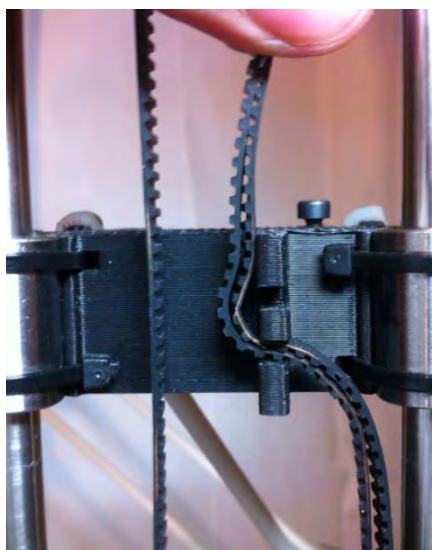


Figura 132. Primer paso montaje correa.

La pieza *Carro* dispone de tres salientes en la parte trasera donde se va a instalar cada una de las correas.

El método de amarre es sencillo si se siguen los consejos que aquí se enumeran. En primer lugar se deben sujetar los extremos de la correa como se muestra en la Figura 132. A continuación se hace pasar la correa por la polea instalada en el motor de la base de la torre como se indica en la Figura 133. Y por el tornillo que fija el rodamiento en la parte superior (Figura 134). Una vez realizados estos pasos se introduce la correa en uno de los salientes de la pieza *Carro* (Figura 132).

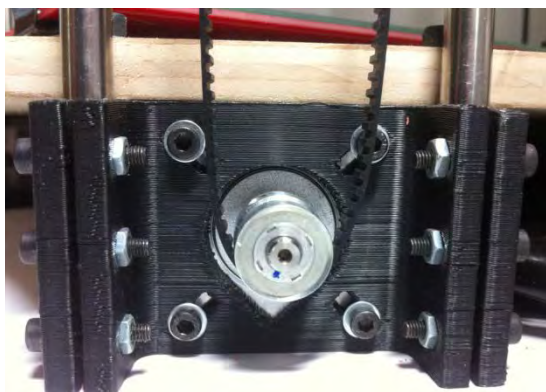


Figura 133. Paso de correa por polea sin tensión.



Figura 134. Paso de correa por tornillo.

Tras colocar de la forma descrita la correa se debe tensar levemente para poder ajustar la medida que se va a necesitar. Después se pasan los dos extremos de la correa por el segundo hueco de los salientes del *Carro* (Figura 135). Si la correa tiene la tensión adecuada no será sencillo introducir la correa pero si resulta muy complicado hacerlo, por la tensión, se le debe dar algo más de longitud.

Para finalizar se ajusta la correa en la parte superior. Al haberla tensado sobre el tornillo se debe alargar una longitud suficiente para aplicar la tensión necesaria de forma que la correa quede perfectamente instalada. Para hacerlo se pasa la correa por el diámetro exterior del rodamiento, se estira con fuerza de uno de los lados y presionando se desliza para que apoye en la superficie exterior del roda-

miento (Figura 136). A continuación se gira el rodamiento subiendo el carro mientras se sigue empujando hasta que apoye todo el ancho de la correa sobre el rodamiento (Figura 137).

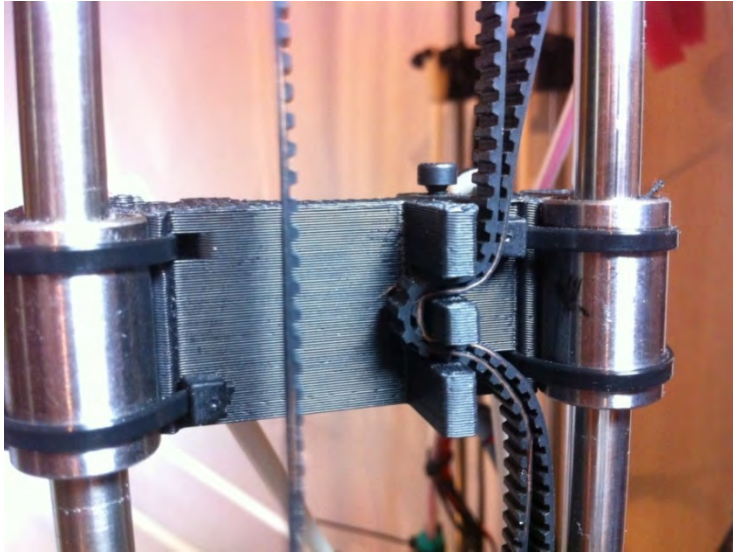


Figura 135. Paso de correa por el segundo hueco del Carro.

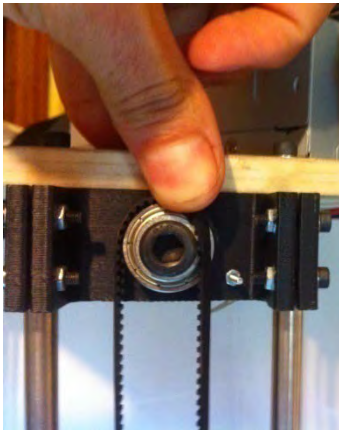


Figura 136. Tensado de la correa.

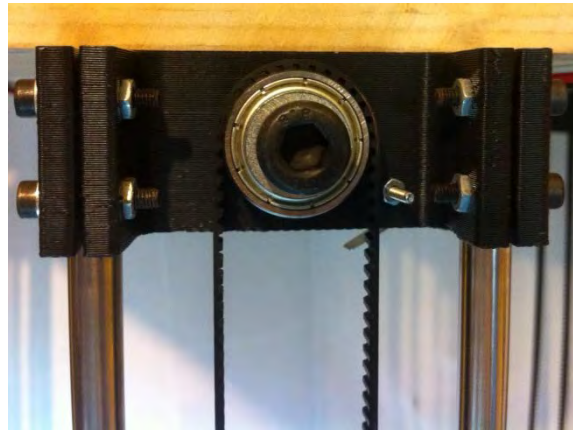


Figura 137. Correa tensada.

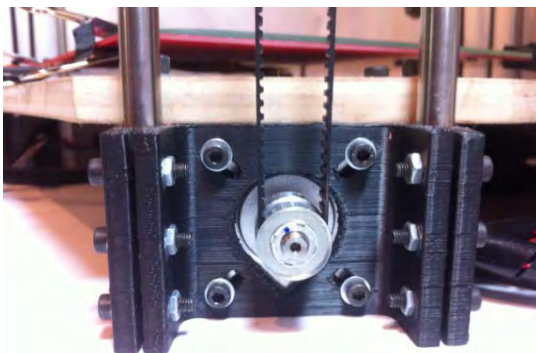


Figura 138. Vista de polea tras tensado.

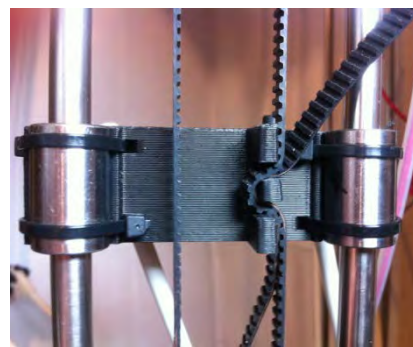


Figura 139. Vista de Carro tras tensado.

5.2.2.8 Montaje del conjunto extrusor

En primer lugar se deben ensamblar los diferentes componentes que forman el conjunto para que finalmente se pueda fijar a la estructura.

Paso 15. Ensamblaje del conjunto extrusor (*Airtripper Extruder*).

- Elementos necesarios:
- 1x *Cuerpo extrusor*.
 - 1x *Eje*.
 - 1x *Puntal*.
 - 1x *Porta rodamiento*.
 - 1x Rodamiento 608ZZ.
 - 1x Mini rodamiento MR105ZZ.
 - 1x Motor.
 - 1x Engranaje dentado MK8.
 - 1x Tornillo fijador M3x5mm.
 - 3x Tornillo M3x30mm.
 - 2x Tornillo M3x35mm.
 - 4x Arandela M3.
 - 2x Tuerca M3.
 - Llave Allen 3.
 - Llave Allen 1.5.

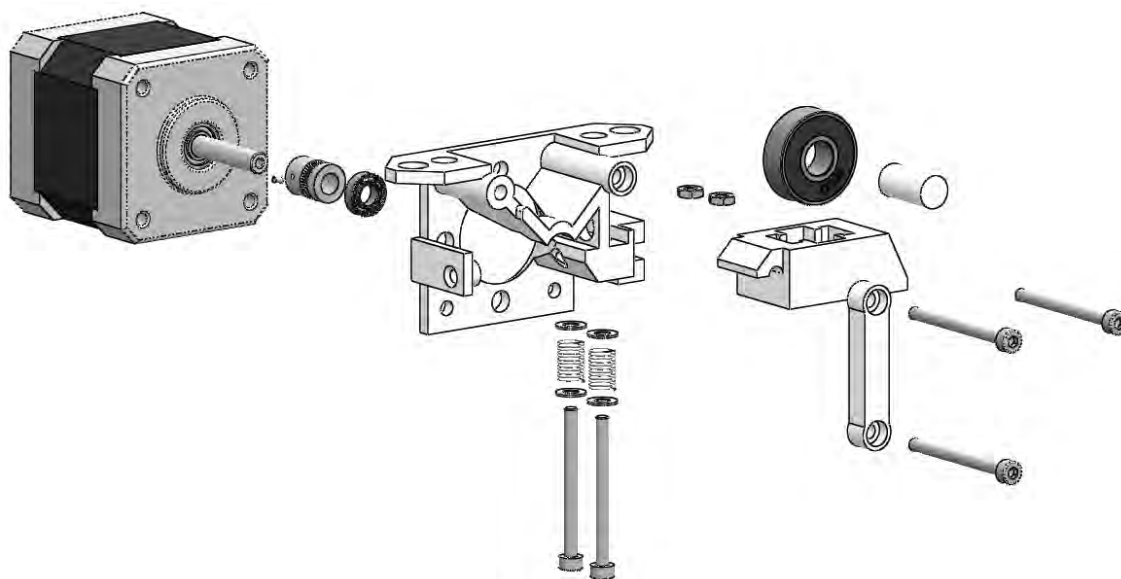


Figura 140. Componentes ensamblaje conjunto extrusor.

En la Figura 140 se muestran los componentes necesarios para ensamblar este conjunto. Primeramente se colocan los tornillos sobre la pieza *Puntal* ya que uno de ellos va a servir de apoyo para la pieza *Porta rodamiento*. También se insertan los muelles y arandelas sobre los tornillos de longitud 35 mm.

En la Figura 141 se muestran los tornillos preparados para su función. Además se ha introducido la pieza *Eje* en el diámetro interior del rodamiento 608ZZ y se inserta en la pieza *Porta rodamiento* en el sentido indicado por la flecha. El *Eje* hará tope en el interior del *Porta rodamiento* quedando fijado el rodamiento para realizar su función.

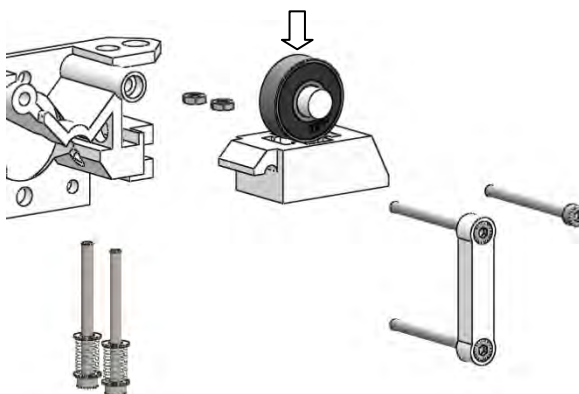


Figura 141. Colocación del rodamiento.

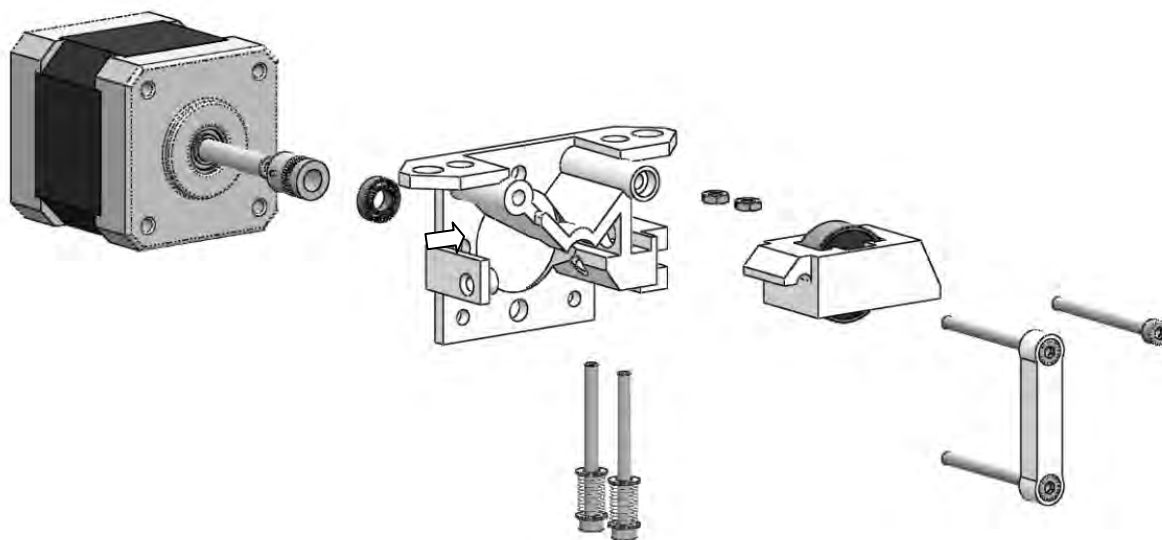


Figura 142. Colocación de engranaje impulsor y mini rodamiento en motor.

En la preparación del motor se fija el engranaje impulsor y el mini rodamiento. Se enrosca el tornillo fijador, con la llave Allen 1.5, en el taladro roscado del engranaje de forma que no sobrepase el diámetro interior para poder insertarlo en el eje (Figura 142). Una vez colocado se aprieta para que se mantenga fijo en el eje hasta que se introduzca en el *Cuerpo extrusor* y se ajuste en línea con los agujeros (se indican en la Figura 142 con una flecha) que guían el plástico hasta el tubo bowden. En el eje del motor también se inserta el mini rodamiento que queda colocado al inicio (Figura 143).

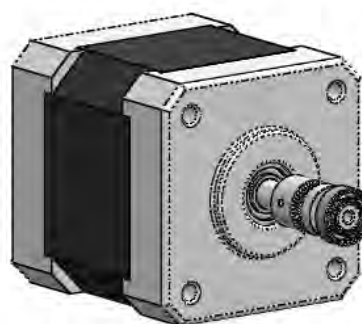


Figura 143. Motor extrusor.

Se coloca después la pieza *Puntal*. El tornillo donde va a apoyarse la pieza *Porta rodamiento* debe apretarse lo suficiente para que la pieza puntal quede ni-

velada. A continuación se apoya la pieza *Porta rodamiento* y se colocan los tornillos que tienen colocados los muelles que harán que el rodamiento ejerza la fuerza necesaria para empujar el plástico contra el engranaje impulsor. Estos pasos se muestran completados en las Figura 144 y Figura 145.

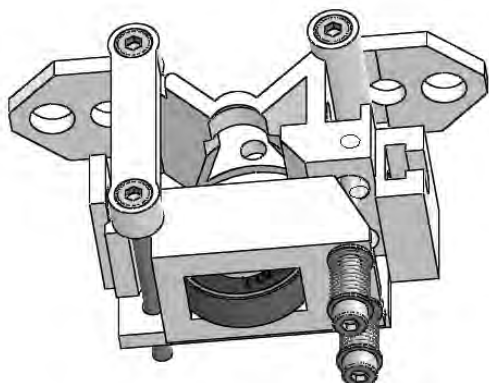


Figura 144. Cuerpo extrusor ensamblado.

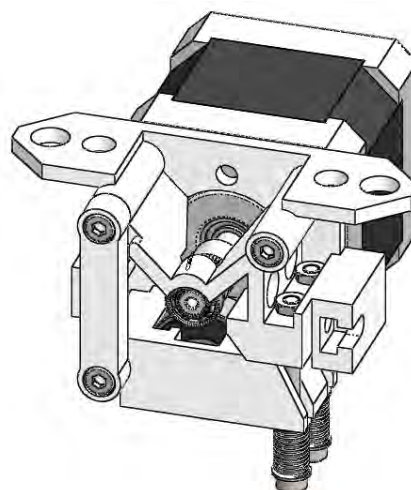


Figura 145. Conjunto extrusor completo. Vista 1.

En la Figura 145 y en la Figura 146 se pueden observar dos vistas del conjunto extrusor completo. La primera muestra la posición de las tuercas que permiten la presión de los tornillos que sujetan los muelles. En la segunda se aprecian prácticamente todos los componentes montados en el conjunto.

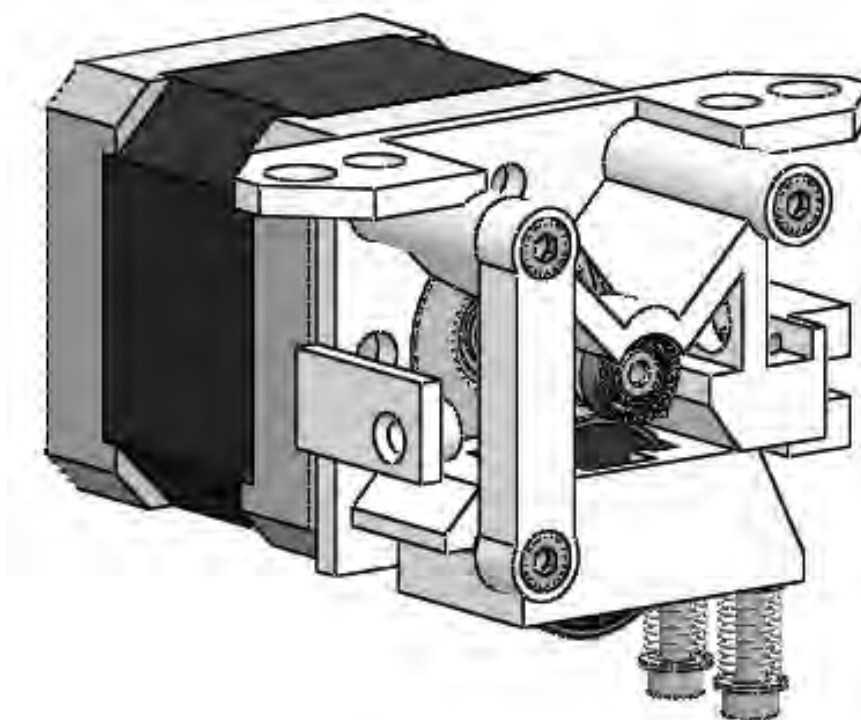


Figura 146. Conjunto extrusor completo. Vista 2.

Paso 16. Fijar en la estructura el conjunto extrusor (*Airtripper Extruder*).

El siguiente paso es instalar el conjunto extrusor (*Airtripper Extruder*) en el contrachapado lateral de 130 mm de ancho. La posición elegida⁷ para instalarlo es orientativa, no es preciso que sea exacta.

- Elementos necesarios:
- 2x Tornillo M4x20mm.
 - 4x Arandela M4.
 - 2x Tuerca M4.

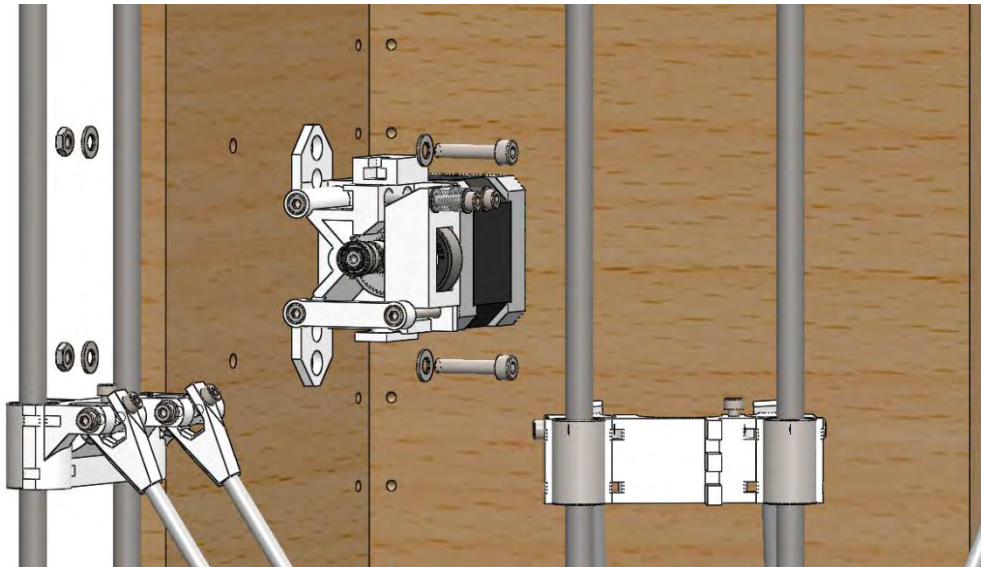


Figura 147. Fijar conjunto extrusor en estructura.

En la Figura 147 se muestran los componentes necesarios para ensamblar este conjunto. Este paso es muy sencillo por lo que simplemente se mostrará la Figura 148 con el conjunto fijado a la estructura.

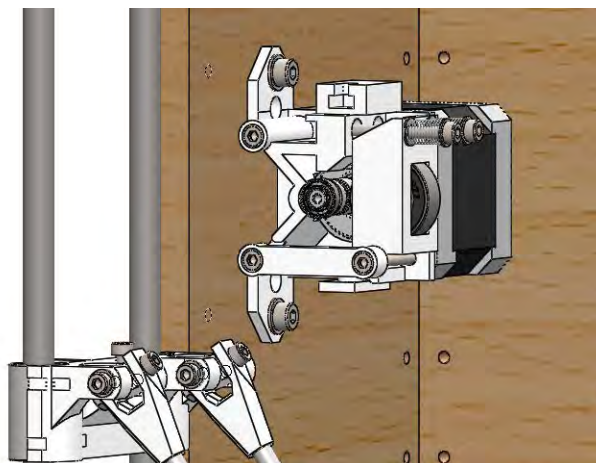


Figura 148. Conjunto extrusor fijado en la estructura.

⁷ Marcada en el plano del contrachapado lateral estrecho en el documento de Planos.

5.2.2.9 Montaje de base calorífica

Una vez finalizada la fijación del extrusor falta por completar únicamente la instalación de la base calorífica PCB.

La base calorífica, una vez realizados los taladros en el contrachapado inferior se fija por medio de los tornillos, muelles y arandelas. En este caso el uso de tuercas autoblocantes asegura la calibración que se realizará a posteriori. En la Figura 150 se muestra un punto de fijación de los cuatro que son necesarios.

Paso 17. Colocar base calorífica en el contrachapado inferior de la estructura.

En este paso se aborda la instalación de la base calorífica. Este componente se coloca encima de cuatro muelles localizados en sus esquinas. La función de estos resortes es la de facilitar la calibración del paralelismo entre este componente y la pieza *Plataforma*. Otra de las funcionalidades es que la base calorífica no se encuentre en contacto directo con el contrachapado, aunque no alcanza temperaturas suficientes como para hacerlo arder es necesario tener este mecanismo de seguridad por motivos de prevención. Los muelles también actúan como amortiguación ante cualquier anomalía durante la impresión, es decir, en el caso que el cabezal extrusor disminuya por cualquier error su altura por debajo de la altura mínima (Z0) los muelles se contraerán y no existirá el peligro de que se rompa el cuerpo del J-Head ni la base calorífica ni el cristal que se coloca sobre esta última.

- Elementos necesarios:
- 4x Tornillo M3x35mm.
 - 16x Arandela M3.
 - 4x Tuerca autoblocante M3.
 - 4x Muelles para M3.

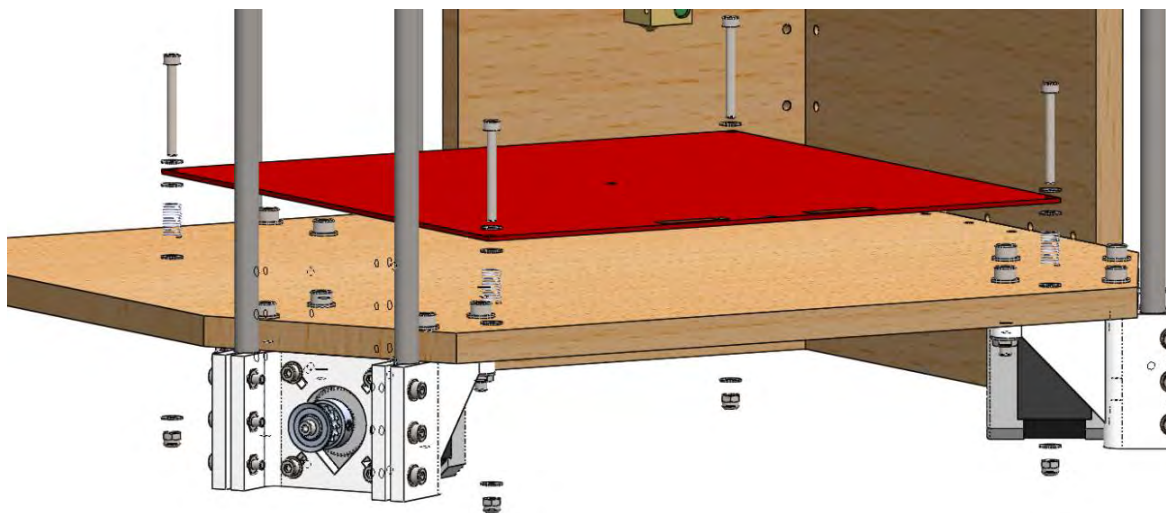


Figura 149. Componentes para fijación de base calorífica.

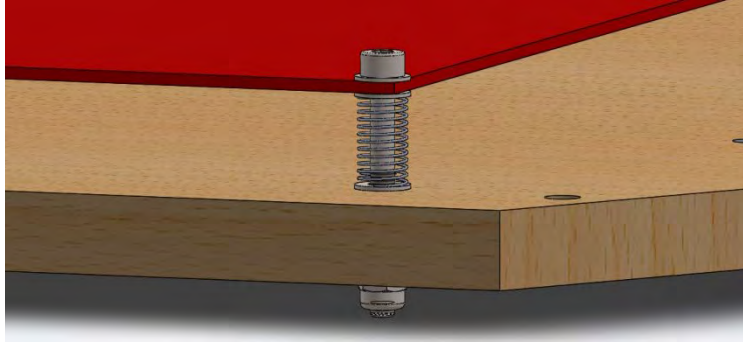


Figura 150. Punto de fijación de base calorífica.

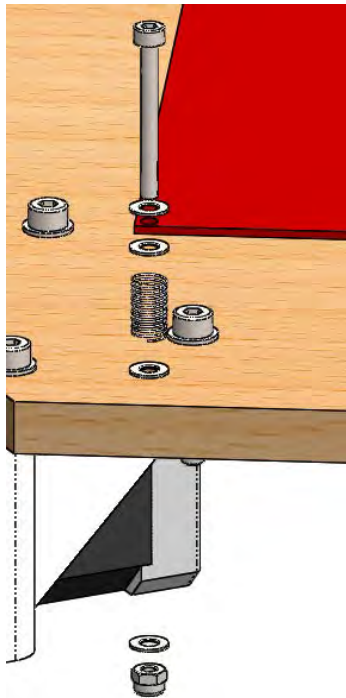


Figura 151. Detalle elementos de fijación de base calorífica.

En la Figura 149 se muestran los componentes necesarios para fijar este componente. Las cuatro arandelas insertadas en cada tornillo tienen cada una su función (Figura 151).

La que se encuentra más próxima al tornillo es la que hace que la presión realizada por la cabeza de éste se reparta en una superficie mayor. De esta forma evita la posible rotura del taladro de la base calorífica. La siguiente se encuentra en la parte superior del muelle permitiendo un mejor apoyo de éste en la parte inferior de la base. Con la misma funcionalidad se coloca otra arandela para el apoyo del muelle en el contrachapado. Finalmente, la última se encuentra entre la tuerca y la superficie inferior del contrachapado, gracias a ella se asegura que la tuerca no agrande el taladro y la presión sea uniforme.

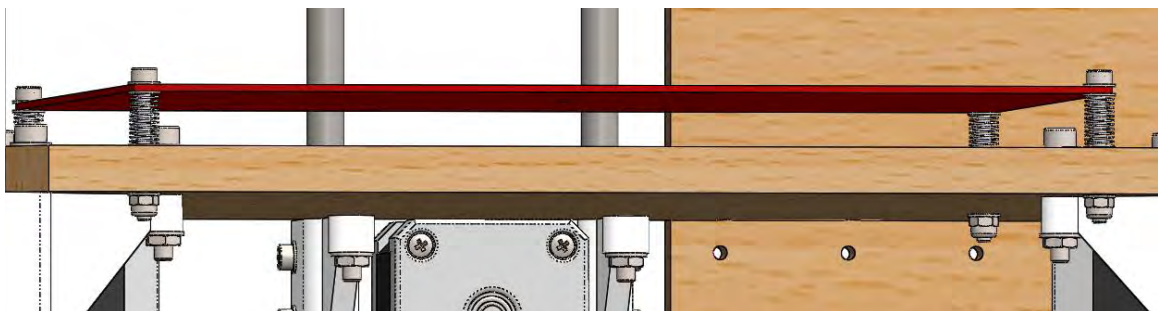


Figura 152. Base calorífica montada en la estructura.

Una vez finalizado este paso la estructura está completamente montada (Figura 152). Solamente falta colocar en la estructura la bobina de plástico y los componentes electrónicos como la placa electrónica y la fuente de alimentación. En este proyecto no se va a documentar la instalación de estos componentes.

5.2.3 Montaje eléctrico

En este apartado se describen las conexiones eléctricas de los componentes electrónicos. La impresora tiene conexiones de potencia debido a los componentes que producen calor y también conexiones para sensores de posición y de temperatura. Además se explica el cableado necesario para mover los motores de movimiento y el que alimenta al extrusor de plástico.

5.2.3.1 Motores

La sección de los cables que tienen conectados es de 0.5 mm^2 . Si no se conoce qué cables corresponden a cada fase se debe comprobar. En este caso los cables tienen los colores rojo, azul, verde y negro. Para saber qué cables están emparejados en cada fase se contactan un par entre ellos. Si mientras están cortocircuitados no se puede mover manualmente el eje del motor significa que están conectados a la misma fase, en caso contrario son de fases distintas. Los cables de los motores que aquí se han utilizado están emparejados formando la fase 1 el rojo y el azul y la fase 2 el verde y el negro.

Por tanto, la secuencia de conexión de cables es negro, verde, rojo y azul. Si se quisiera cambiar el sentido de giro bastaría con cambiar el conector de posición invirtiendo la secuencia. Esto puede ser necesario si alguno de los motores conectados se mueve en sentido contrario al esperado.

Dependiendo del proveedor que se elija se pueden encontrar distintos procesados de los cables. Es decir, los motores comprados en este caso traen los cables sin los conectores instalados por lo que es necesario crimparlos para adaptarlos a los conectores de 4 cables que necesita la placa electrónica.



Figura 153. Crimpado de cables. Pines y conectores.

En un primer momento se realizó el crimpado de los pines. Sin embargo, el kit adquirido para obtener la placa electrónica contenía los cables necesarios con los conectores listos para enchufar. En este caso la preparación de los cables se redu-

ce a soldar los extremos de los motores con los extremos de los conectores haciendo coincidir los colores de los cables [42].



Figura 154. Empalmes motores-conectores.

5.2.3.2 Sensores

Los sensores utilizados en esta máquina son: finales de carrera y termistores. Los termistores se sitúan en los componentes caloríficos, uno en la boquilla del final caliente, J-Head, y otro en la cama caliente PCB. En el caso de los finales de carrera, se instala uno en la parte más alta de cada torre.

5.2.3.2.1 Finales de carrera

Comenzando por los finales de carrera. Los utilizados en el proyecto [43] son micro pulsadores con tres pines C (común), NO (*Normally Opened*, normalmente abierto), NC (*Normally Closed*, normalmente cerrado). Se utilizan los pines NC y C que van conectados en la placa electrónica a los pines S y – respectivamente. El pin NO no se conecta, aparece marcado en la Figura 155. Estas soldaduras se hicieron con cables de 0.75 mm^2 . Sin embargo es recomendable utilizar cables de 0.5 mm^2 , de lo contrario es muy complicado crimparlos e introducirlos en los pines y conectores de la Figura 153.



Figura 155. Finales de carrera, conexión.

En el momento en que se soldaron los cables de los finales de carrera no se disponía de fundas termorretráctiles pero es recomendable colocarlas sobre las conexiones para que estén aisladas y protegidas.

5.2.3.2.2 Termistores

Los termistores utilizados en este proyecto son componentes muy delicados. Tienen unos filamentos muy finos y pueden romperse con mucha facilidad. A la hora de conectarlos a los cables que los llevan hasta la placa electrónica se pueden utilizar dos métodos, soldarlos o crimparlos.

En este caso se ha probado incluso a unirlos manualmente y protegerlos después con cinta kapton pero esta opción es inútil ya que en ocasiones puede dejar de hacer contacto creando muchos problemas para la calibración o la impresión.

Estos componentes van a estar sometidos a altas temperaturas. Son dos los termistores que se instalan: uno en la cama caliente y otro en el final caliente. Alcanzan un máximo aproximado de 120°C y 260°C respectivamente.

La primera conexión (Figura 156), la del termistor instalado en la cama caliente, se puede hacer sin ningún problema con soldadura de estaño.



Figura 156. Termistor de Hot Bed fijado.

La segunda conexión, la del sensor que va a medir la temperatura del final caliente, si se hace con soldadura de estaño existe la posibilidad de que se funda y aparezcan problemas de medición ya que el estaño funde a 230°C . Aún así, al encontrarse la soldadura separada unos centímetros de la zona más caliente, es probable que soporte la temperatura. Sin embargo lo más recomendable para esta última conexión es crimparla.

La instalación del termistor del final caliente fue necesario realizarla en dos ocasiones. En la Figura 157 se puede ver la primera de las conexiones realizadas. La masilla negra es masilla térmica recomendada para chimeneas. En este caso se

utilizó la mínima cantidad necesaria. El problema que genera es que los filamentos del termistor, que se ven protegidos por una funda de teflón, tienen mucha movilidad.



Figura 157. Primera instalación termistor Hot End.

Después de realizar las conexiones se instaló en la plataforma y una vez finalizada la instalación se habían roto los filamentos a la altura de la boquilla debido a la fatiga producida por la manipulación. El gasto en tiempo fue muy grande ya que la masilla tarda en secar 48 horas y se debe calentar por encima de los 100°C durante 2 horas para asegurar la correcta solidificación. Además una vez se ha realizado todo el proceso de secado solamente se puede eliminar mecánicamente por lo que el termistor no se pudo reutilizar y se tuvo que instalar uno nuevo.

En este caso se utilizó la masilla térmica para limitar la movilidad de los filamentos del termistor (Figura 158) y además se manipuló con extrema precaución.



Figura 158. Segunda instalación termistor Hot End.

5.2.3.3 Cableado de potencia

Este cableado soporta una corriente más elevada que el resto. Estos son, tomando como referencia la placa electrónica: la entrada de alimentación proveniente de la fuente de alimentación, la salida que alimenta la resistencia calorífica del extrusor y la salida que alimenta a la base calorífica. Los cables que se han utilizado tienen una sección de 1 mm^2 . Aún así se calientan cuando la impresora está imprimiendo, sería recomendable aumentar la sección a 1.5 mm^2 para reducir este calentamiento al mínimo.

Los cables que tiene la fuente de alimentación, reciclada de un ordenador, tienen una sección de 0.75 mm^2 . La placa electrónica tiene cuatro entradas de alimentación, dos positivas y dos negativas. Por tanto se deben preparar en total cuatro pines para los extremos de las cuatro tomas que se conectarán a la fuente de alimentación. Una vez crimpados, los pines se sueldan y se aíslan con fundas termorretráctiles. Los otros extremos se conectan a la placa electrónica mediante un conector rápido (Figura 159).

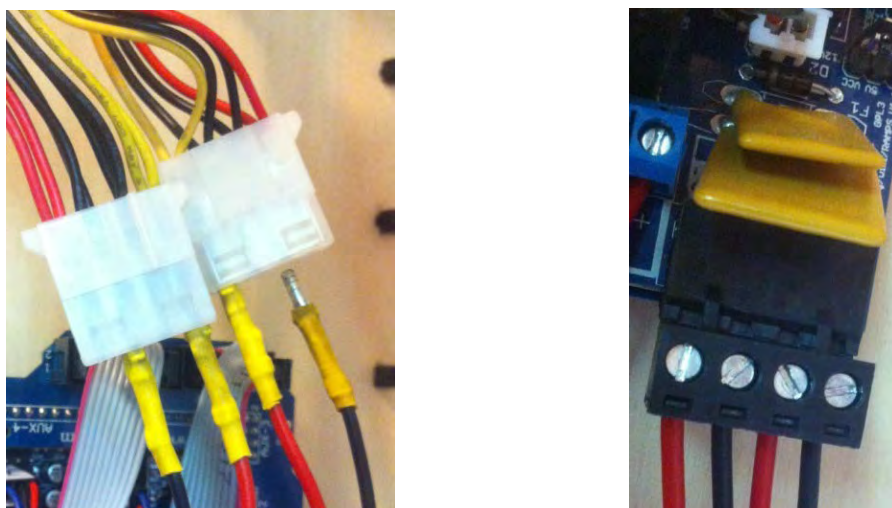


Figura 159. Conexiones de alimentación.

En las fuentes de alimentación utilizadas para alimentar una CPU, los cables amarillos son el positivo de los 12V que necesita la placa electrónica, a ellos se conecta el cable rojo que lleva los +12V a la placa electrónica. Los cables negros se unen a los negros que irán a la placa para dar los 0V o el negativo. Para que la fuente de alimentación de una CPU funcione es necesario cortocircuitar el cable verde con algún cable negro. Este paso es muy importante y muy fácil de pasar por alto, teniéndolo en cuenta se elimina un posible problema.

En la placa electrónica RAMPS 1.4 existen tres salidas para conexiones de potencia con sus respectivos pares de bornes positivo y negativo. En ellos se conec-

tan los cables que alimentan a la base calorífica y a la resistencia calorífica del extrusor.

Para la cama caliente se han utilizado los mismos cables que para la alimentación, de 1 mm² de sección. Se deben instalar en los bornes de la base calorífica PCB según se muestra en la Figura 160.



Figura 160. Soldaduras PCB.

En el caso del cableado de alimentación del final caliente, J-Head, se han utilizado un par de cables que se suministraron con el kit de la placa electrónica de 1.5 mm² de sección. El elemento que necesita ser alimentado para producir el calor es una resistencia calorífica de 6R8 (6.8Ω) y 2.5W que se instala en la boquilla del J-Head. Para realizar las uniones entre las patillas de la resistencia y los cables de alimentación se utiliza la opción de crimparlas ya que en caso de estañarlas es muy probable que se fundan y creen problemas a posteriori. Al pelar el cable, para evitar que la funda de plástico se derrita, se elimina una cantidad más grande de lo habitual dejando un buen espacio con el cobre pelado (Figura 161). Reutilizando un tubo de metal de pequeño diámetro se han unido ambos extremos aplicando presión con una herramienta. Finalmente se aíslan con cinta kapton y fundas termorretráctiles. A continuación se puede fijar la resistencia a la boquilla.



Figura 161. Conexión de resistencia calorífica.

5.2.3.4 Controladores (*drivers*) motores

Dependiendo del proveedor que se elija, es probable que resulte necesario soldar los pines de los controladores de los motores. Los 4 drivers Pololu que se instalaron con la primera placa electrónica utilizada, Sanguinololu 1.3a, tuvieron que ser soldados. Para realizar estas soldaduras es necesaria la utilización de una mordaza como se muestra en la Figura 162. Para el proceso de soldadura se utilizó un soldador de punta fina. En primer lugar se calienta uno de los pines, tras colocarlos correctamente en los agujeros. Transcurrido un tiempo adecuado para calentar el pin se aplica el estaño entre el metal y el soldador. La soldadura se adhiere al círculo metálico quedando el pin soldado. Una vez soldados todos los pines se debe comprobar que no se ha cortocircuitado varios pines en el proceso.

En el kit adquirido posteriormente, con la placa RAMPS 1.4 se incluían 5 drivers de motores ya instalados por lo que no fue necesario realizar soldaduras.

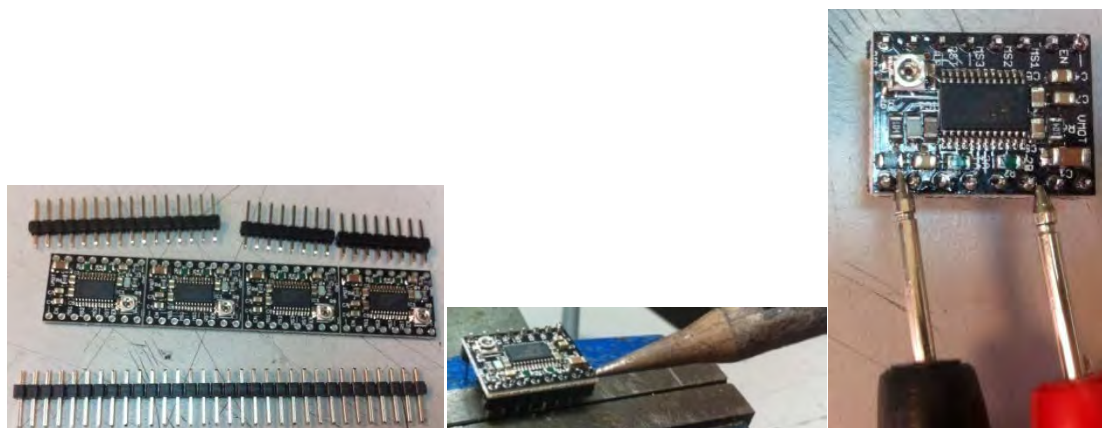


Figura 162. Soldar pines drivers motores.

5.2.3.5 Conexiones placa electrónica

En este apartado se muestra una imagen, en la Figura 163, de la placa electrónica RAMPS 1.4 y las conexiones que se deben realizar para su uso en la impresora 3D modelo Rostock.

Entre las conexiones que aparecen en la Figura 163 debe respetarse la polaridad en los cables que se conectan a la fuente de alimentación y a los finales de carrera.

En el caso de los motores bipolares (X, Y, Z, E0) es importante conectarlos correctamente pero no es peligroso conectarlos al contrario ya que el único efecto que tendrá es que irán en sentido contrario.

Las salidas que alimentan al final caliente (D10) y a la base calorífica (D8) es indiferente la posición de los cables. Igualmente sucede en las entradas para los termistores (T0 y T1).

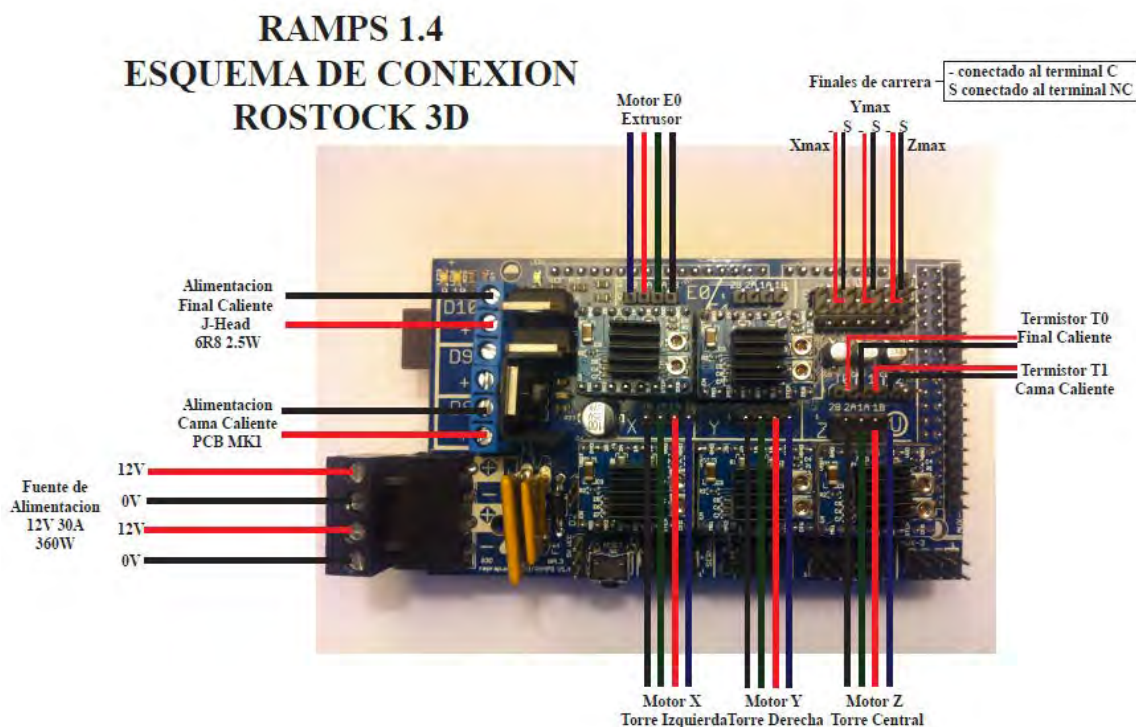


Figura 163. Esquema de conexión RAMPS 1.4 para Rostock 3D.

La salida D9 puede ser utilizada para alimentar un segundo extrusor. El uso por defecto que tiene esta salida es para alimentar uno o varios ventiladores para refrigerar la placa electrónica, refrigerar la impresión que se esté realizando o refrigerar el cuerpo del extrusor J-Head. La placa electrónica es necesario refrigerarla, para esta funcionalidad aparecen en el presupuesto los ventiladores de 50x50 mm. La refrigeración del cuerpo del extrusor es opcional, para ello se han elegido los ventiladores de 30x30 mm. La refrigeración del plástico impreso también es opcional y para esta impresora se utiliza un ventilador tradicional de venta en tiendas de electrodomésticos.

Cabe destacar que la polaridad en el caso de la base calorífica es indiferente en cuestión de funcionalidad. Sin embargo, la base calorífica tiene instalados unos LED que, si se conecta correctamente la polaridad (Figura 164), lucen indicando cuando se aplica tensión para calentarla y permanecen apagados cuando no circula corriente.

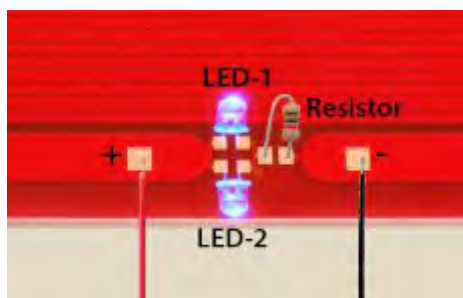


Figura 164. Polaridad para el uso de LED base calorífica.

5.2.4 Calibración hardware

5.2.4.1 Calibración de los drivers de los motores

La calibración de los controladores, o *drivers*, de los motores debe realizarse previamente a la alimentación de la placa electrónica.

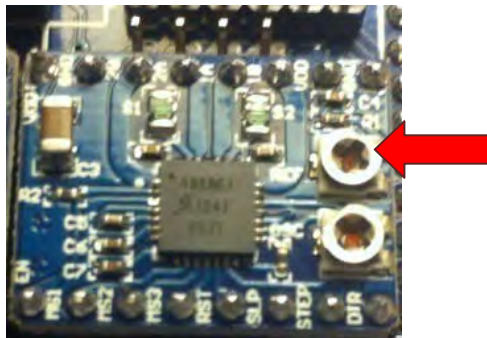


Figura 165. Driver motor paso a paso G3D A4988.

Para realizar esta calibración, es importante que el potenciómetro nombrado como REF (señalado por la flecha roja en la Figura 165) de cada driver esté girado al máximo en sentido antihorario antes de conectar la alimentación.

A continuación se conecta la placa a la fuente de alimentación y se mide la diferencia de tensión entre el potenciómetro V_{REF} y la tierra GND [42] según se indica en la Figura 166.



Figura 166. Medición de la tensión entre REF y GND.

Se calibran los potenciómetros a los siguientes parámetros que recomienda el proveedor de los drivers instalados [42]:

- Motores de las torres X, Y, Z: 0.9V.
- Motor extrusor E0: 0.9 – 1.1V.

Para realizar las calibraciones de los próximos apartados se deben cumplir las siguientes condiciones previamente al ajuste:

- La base caliente debe estar instalada sobre los cuatro muelles en la parte inferior de contrachapado. Los tornillos de los muelles deben tener margen para poder comprimirlos y así disminuir la altura de la base.
- Sobre la base caliente es recomendable fijar un espejo que se puede sujetar con pinzas de oficina (Figura 55).
- El firmware debe haberse cargado en el microcontrolador y estar preparado para poder ejecutar comandos gcode de forma que el cabezal responda perfectamente a los movimientos que se le envían. La información necesaria para cumplir esta condición se encuentra en el apartado Software
- Tener conectada la impresora al ordenador y al programa Reperier-Host para poder controlar sus movimientos en el modo de control manual.

5.2.4.2 Calibración Z

La calibración del movimiento de la impresora en el eje Z se realiza determinando los impulsos que deben enviar los motores para que las correas que mueven hagan avanzar en la dirección vertical la plataforma donde se encuentra instalado el componente J-Head. Las medidas se realizan en cualquiera de los tres *Carros*.

Los parámetros de los que depende son los siguientes:

- a. Resolución del motor paso a paso.** Los motores NEMA 17 tienen una resolución de $1.8^\circ/\text{paso}$, es decir, para poder girar una vuelta completa deben dar 200 pasos ($360^\circ/1.8^\circ$).
- b. Driver microstepping[44].** Es determinado por el controlador del motor y crea fracciones de pasos (micropasos) dentro de cada paso completo que pueda dar el motor. En la placa electrónica RAMPS 1.4 de este proyecto se han utilizado los controladores G3D A4988 Driver rev 1, similares a los Drivers Pololu A4988 y tienen la capacidad de crear 16 micropasos por cada paso del motor.
- c. Paso de la correa y de la polea.** La correa utilizada en este proyecto es de tipo T2.5 y tiene un paso de 2.5 mm. Las poleas de tipo T2.5 tienen el mismo paso para permitir un correcto arrastre.
- d. N° de dientes de la polea.** La polea tiene 16 dientes.

A continuación se muestran los cálculos necesarios para ajustar el número de pasos para avanzar 1 mm en la dirección vertical Z:

Relacionando los parámetros a y b . Debido a que el controlador del motor le permite dar 16 micropasos para dar un paso completo, la resolución es de:

$$200 \times 16 = 3200 \text{ pasos/vuelta} \quad (10)$$

Relacionando los parámetros c y d se obtiene el perímetro de la polea y por tanto el avance de la correa tras completarse una vuelta de la polea:

$$2.5 \times 16 = 40 \text{ mm/vuelta} \quad (11)$$

Entonces, dividiendo los resultados de las ecuaciones (10) y (11) se resuelve el número de pasos que deben dar los motores situados en cada una de las tres torres de la impresora para que el avance real se corresponda con el que se envía a la máquina.

$$\text{pasos}_{mm} = \frac{3200 \text{ pasos/vuelta}}{40 \text{ mm/vuelta}} = 80 \text{ pasos/mm} \quad (12)$$

Este cálculo supone una aproximación teórica. Aún se debe comprobar que la impresora cumple esta ecuación y medir, por ejemplo 10 mm (medida que se quiere avanzar) y comprobar que al enviarle este valor lo avanza realmente. Si no estuviera calibrada tras comprobarlo y, por ejemplo, avanzara 9,7 mm (avance real) bastaría con aplicar la siguiente fórmula e introducir el valor resultante en la línea del firmware (pág. 142) que corresponde:

$$\text{pasos}'_{mm} = \frac{80 \text{ pasos/mm}}{9.7 \text{ mm}} \times 10 \text{ mm} = 82.474 \text{ pasos/mm} \quad (13)$$

5.2.4.3 Calibración X, Y

La calibración de los ejes X e Y se realiza introduciendo la geometría que tiene la impresora. La Figura 167 y la Figura 168 muestran las cotas que se tienen en cuenta para realizar este ajuste.

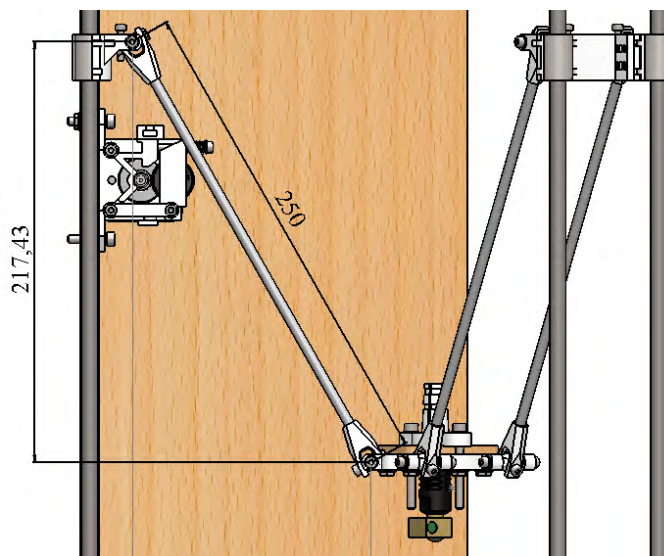


Figura 167. Detalle vista lateral de Rostock 3D.

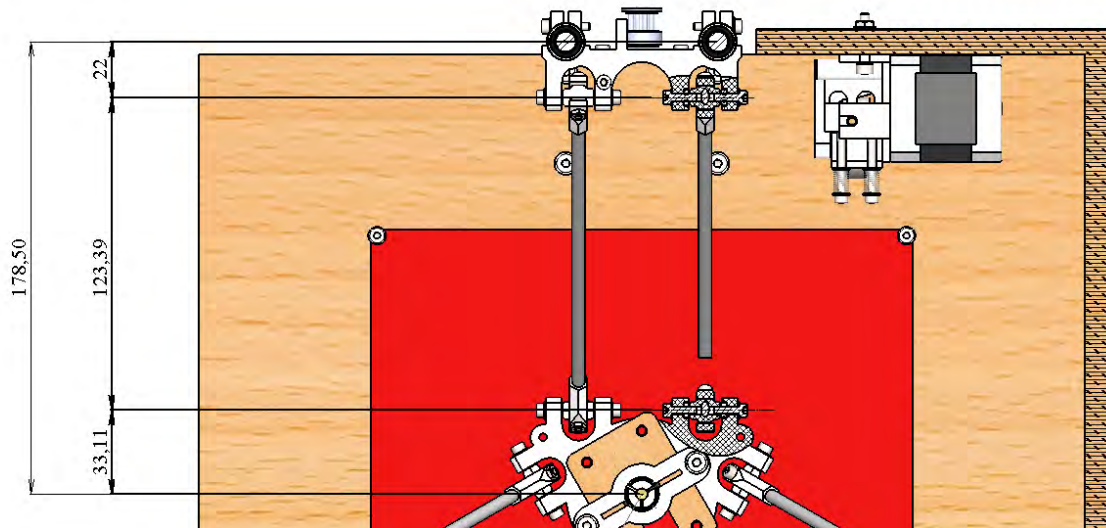


Figura 168. Detalle sección planta Rostock 3D.

Utilizando los parámetros siguientes y asignándoles el valor que corresponda según la construcción realizada de la máquina:

- a. Longitud de varilla diagonal: $L_v = 250$ mm.
- b. Distancia del centro a la barra lisa: $D = 178.5$ mm.
- c. Distancia del centro a la unión de la varilla con la plataforma:
 $P = 33.11$ mm.
- d. Distancia de las uniones del carro con la barra lisa: $L_c = 22$ mm.
- e. Radio Delta (R) = $D - P - L_c = 123.39$ mm.

Todos estos valores serán necesarios para el correcto funcionamiento de la máquina y en caso de tener variaciones en las piezas impresas en estas direcciones, lo más recomendable, es comprobar que estos parámetros son correctos o variarlos para ajustar el posicionamiento del cabezal.

Además se pueden obtener las coordenadas efectivas X e Y de las tres torres verticales:

- f. Coordenada X_Torre 1 (delantera izquierda) = $-\sin(60) \times R$
- g. Coordenada Y_Torre 1 (delantera izquierda) = $-\cos(60) \times R$
- h. Coordenada X_Torre 2 (delantera derecha) = $\sin(60) \times R$
- i. Coordenada Y_Torre 2 (delantera derecha) = $-\cos(60) \times R$
- j. Coordenada X_Torre 3 (trasera central) = 0.0
- k. Coordenada Y_Torre 3 (trasera central) = R

5.2.4.4 Extrusión

En este caso el perímetro que se va a utilizar es el del engranaje impulsor del plástico, el MK8. Para el cálculo se toma el diámetro efectivo que es de 7 mm. Así, el valor que habrá que introducir como primera aproximación para calibrar el extrusor es:

$$pasos_{mm_{extrusor}} = \frac{3200 \text{ pasos/vuelta}}{7 \times \pi \text{ mm/vuelta}} = 145.513 \text{ pasos/mm} \quad (14)$$

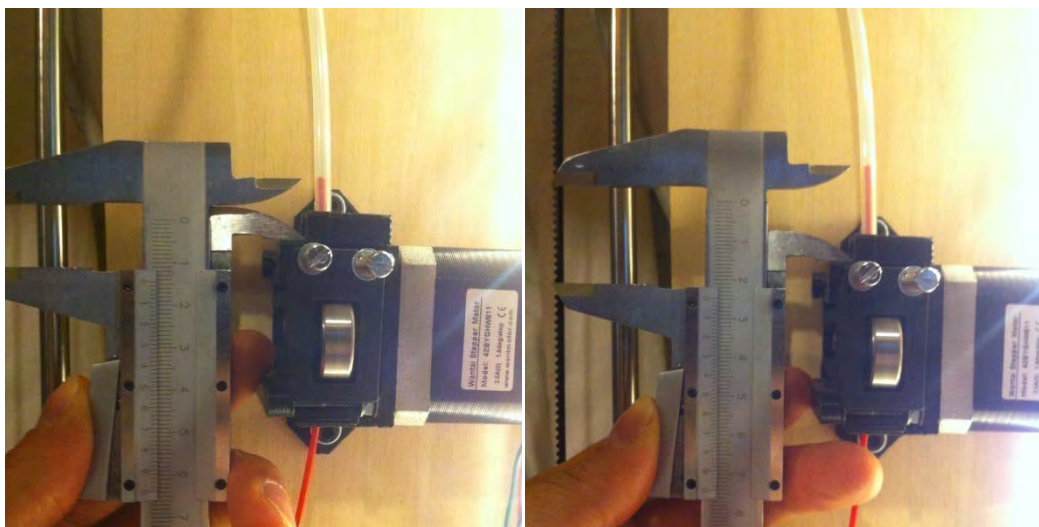


Figura 169. Calibración extrusor con calibre.

A continuación se deberá activar la extrusión de plástico una distancia suficiente para poder medirlo marcando una referencia previa.

Una vez haya avanzado una distancia de por ejemplo 10 mm según el software, al medirlo se obtendrá el avance real recorrido por el plástico. Si el avance no ha sido de 10.00 mm se puede corregir el valor obtenido, *avance real*, mediante la ecuación (14) e introduciendo el resultado en el firmware (pág. 142):

$$pasos'_{mm} = \frac{80 \text{ pasos/mm}}{9.7 \text{ mm}} \times 10 \text{ mm} = 82.474 \text{ pasos/mm} \quad (13)$$

5.2.4.5 Plataforma de impresión

En primer lugar se deben referenciar la posición con la que se van a guiar los motores. Para ello es necesario hacer *homing*⁸. La posición de referencia para este modelo de impresora es X0, Y0, Z400. Los finales de carrera se encuentran situados en la parte superior y por tanto el valor de Z es el máximo que puede alcanzar. Además el cabezal se sitúa en el centro de la superficie que forman las tres torres.

Una vez que la placa electrónica referencia la posición que tienen los motores se disminuye la distancia Z. Es recomendable reducir el avance a medida que se aproxima el cabezal al espejo fijado sobre la base caliente. En un primer acercamiento es muy probable que el paralelismo entre la base de impresión y la punta

⁸ *Homing* es un anglicismo utilizado para expresar la orden que se envía a la impresora para que se posicione en su cero máquina, es decir, vaya a posiciones conocidas y las establezca como referencia.

inferior del cabezal tenga algunos milímetros de diferencia en algunos puntos por lo que es recomendable dejar un margen de, por ejemplo, 10 mm.

A continuación se localiza el punto más alto de la base de impresión de la moviendo el cabezal con las flechas del software Repetier Host, con poco avance inicialmente, comparando la altura de las cuatro esquinas de la base de impresión. Estos puntos son los más cercanos a los tornillos donde se encuentran instalados los muelles. El método consiste en posicionarlo, en primer lugar, en la esquina de la base que se encuentre a mayor altura, por ejemplo en las coordenadas (X80, Y80). Posteriormente disminuir la altura del cabezal hasta tocar el espejo levemente con la punta inferior de la boquilla del cabezal, sin que llegue a empujar la base comprimiendo el muelle. Consecutivamente, sin variar esta altura Z de referencia, desplazar el cabezal hasta la esquina contraria, siguiendo con el ejemplo (X-80, Y-80), y aumentar la altura hasta que la base toque ligeramente la punta del cabezal. A continuación realizar el ajuste de las dos esquinas restantes a la altura de referencia. Posteriormente se debe hacer *homing* de nuevo y repetir estos pasos hasta que la base se encuentre calibrada con el plano que forma el movimiento del cabezal.

La posición de Z que marca en la pantalla del programa Repetier, con el que se ha controlado el movimiento, se le debe restar a la altura fijada en el firmware de Arduino para que esa posición sea ahora Z0. Es decir, si se había fijado una altura de Z400 y el software marca que la altura de la base es Z0.7, el nuevo valor que debe aparecer en el firmware (pág. 142) será de Z399.3 para que la base se encuentre en Z0.

5.2.4.6 Finales de carrera

Los finales de carrera situados en las piezas *Final rodamiento*, colocadas en la parte superior de las torres es preciso calibrar su posición. Los pulsadores están preparados para ser instalados mediante tornillos M2, sin embargo, debido a la dificultad para encontrar esta medida se han fijado con pegamento. Es un buen sistema de anclaje exceptuando la variación de la posición que pueden sufrir al adherirse a la pieza impresa.

Para poder calibrar esta variación en la posición de los finales de carrera se utilizan los tornillos instalados en los carros en dirección vertical. La cabeza de estos tornillos son los encargados de activar los diferentes pulsadores de final de carrera.

En un primer momento estos tornillos es recomendable posicionarlos a la misma distancia de la superficie del *Carro*. Para ello, sabiendo que el paso del tornillo M3 es de 0.5 mm, se enrosca hasta que la parte inferior de la cabeza haga tope con la superficie de la pieza impresa. A continuación se separa de esta superficie, por ejemplo 2 mm, dando cuatro vueltas al tornillo en sentido antihorario. Poste-

riormente se realiza un *homing* para pulsar los finales de carrera con los tornillos y fijar una referencia.

El objetivo es hacer que todos los carros se sitúen a la misma distancia de la base de impresión. La manera más aproximada de poder conocer esta posición consiste en llevar el cabezal al punto más cercano a cada una de las torres, por ejemplo, considerando un radio de 85 mm:

- Punto más cercano a la torre central trasera: X0 Y85.
 - $X=85*\cos(90)=0$
 - $Y=85*\sen(90)=85$
- Punto más cercano a la torre izquierda delantera: X-73.612 Y-42.5
 - $X=85*\cos(210)=-73.612$
 - $Y=85*\sen(210)=-42.5$
- Punto más cercano a la torre derecha delantera: X73.612 Y-42.5
 - $X=85*\cos(-30)=73.612$
 - $Y=85*\sen(-30)=-42.5$

Trasladando el cabezal de impresión a estos puntos y obteniendo el punto más bajo se modifica la posición de los tornillos que activan los pulsadores. Para disminuir la posición Z de uno de los carros se enrosca el tornillo en sentido antihorario la misma distancia que sea necesaria corregir para que coincida con el punto más bajo determinado. Tras realizar esta operación en los dos carros que se encuentren más altos se vuelve a referenciar la posición de la impresora haciendo *homing* y se repite el proceso hasta que se obtenga una calibración aceptable.

5.3 Software

Para poder imprimir una pieza en 3D son necesarios varios programas que uno tras otro van procesando la información creada hasta poder tener físicamente el diseño deseado. En primer lugar se debe crear, descargar o transformar un modelo CAD en un archivo de formato *.STL⁹. Este tipo de archivos lo pueden interpretar los programas de laminado, le aplican las condiciones que se configuren para cada impresora según su calibración para transformarlo en un conjunto de capas

⁹ STL (siglas provenientes del inglés "STereo Lithography") es un formato de archivo informático de diseño asistido por computadora (CAD) que define geometría de objetos 3D, excluyendo información como color, texturas o propiedades físicas que sí incluyen otros formatos CAD. Un archivo STL describe una superficie triangulada estructurada en bruto por la unidad normal y vértices (ordenado por la regla de la mano derecha) de los triángulos usando un sistema de coordenadas cartesianas tridimensional. Coordenadas STL deben ser números positivos, no hay información de escala, y las unidades son arbitrarias.

Enlace consultado el 20 de agosto de 2014: [http://en.wikipedia.org/wiki/STL_\(file_format\)](http://en.wikipedia.org/wiki/STL_(file_format))

y como resultado se obtiene un archivo en formato *.GCODE¹⁰. Este archivo son las líneas de texto que van a dar las órdenes a la impresora sobre la velocidad de los motores, temperatura, los puntos a los que se mueve, la cantidad de material que debe extruir, etc. El programa que al que se conecta y con el que comunica la impresora permite cargar este archivo. Por último es necesario el firmware del microcontrolador, es decir, el programa que maneja la placa electrónica, que interpreta y ejecuta las órdenes enviadas en código G (*.GCODE) manejando el hardware de la impresora.

Durante la realización de este proyecto se han probado varios programas de cada tipo. A continuación se comentan cuáles son y cómo encontrar información para poder manejarlos así como los motivos para haberlos utilizado. Actualmente existen multitud de programas de cada tipo y se puede acceder a un listado de todos ellos a través de los enlaces que aparecen en este apartado.

Para esta impresora se puede encontrar fácilmente software libre, es decir, gratuito y con código abierto. Todos los pasos de la cadena de software que se muestra en la Figura 170 [45] tienen varios programas libres compatibles, generalmente, para cualquier sistema operativo. Se anima a utilizarlos ya que supone contribuir con el desarrollo y mejora del software libre.

Todo el software presentado en este proyecto se ha instalado en el sistema operativo Windows 7.

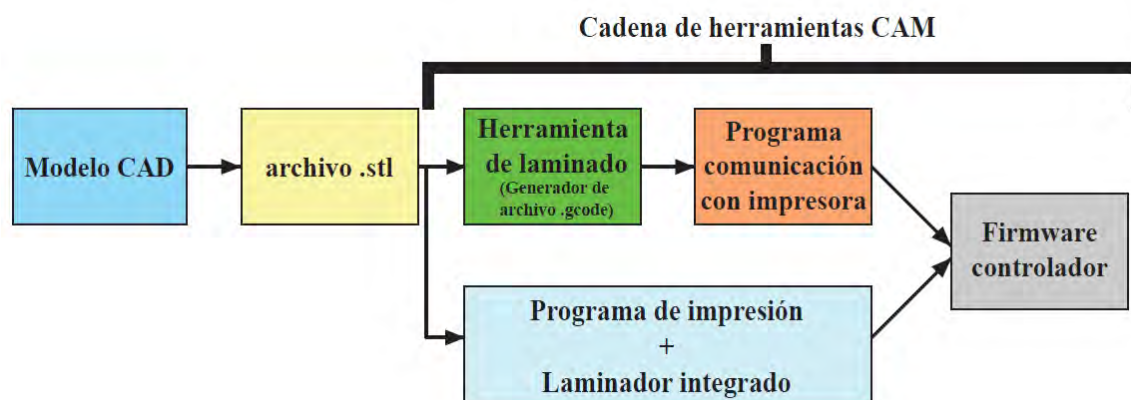


Figura 170. Esquema cadena de software.

¹⁰ G-code es el nombre que habitualmente recibe el lenguaje de programación más usado en Control numérico (CNC), el cual posee múltiples implementaciones. Usado principalmente en automatización, forma parte de la ingeniería asistida por computadora. Al G-code se le llama en ciertas ocasiones lenguaje de programación G.

5.3.1 Programas CAD

CAD (*Computer Aided Design*), diseño asistido por ordenador. Este tipo de programas permiten crear diseños 3D que es el primer paso para poder imprimir los diseños que se deseen.

La gran cantidad de software disponible [46] para este propósito puede diferenciarse, entre otras, por ser software libre o privado. En este proyecto, como se ha comentado previamente, se ha utilizado software de ambos tipos.

A continuación se introducen los dos programas utilizados en este proyecto:

- **OpenSCAD** [47] es un programa de software libre de, lo que se denomina CSG (*Constructive Solid Geometry*), geometría constructiva de sólidos.

Utiliza geometrías simples (cilindro, esfera, cubo, pirámide, cono, prisma, etc.) que se pueden situar en el espacio de coordenadas 3D y aplicarles valores de traslación, rotación, etc. Las geometrías pueden relacionarse con operaciones booleanas (unión, intersección, diferencia, etc). En base a lo anterior pueden formarse piezas complejas programando código y pudiendo observar el resultado tras cada línea. OpenSCAD es simple y gratuito, existen multitud de tutoriales en la web y para comenzar a manejarlo se recomienda la serie de micro-tutoriales OpenScad realizados por Juan González Gómez (alias Obijuan) [48].

Con OpenSCAD se pueden crear archivos con la extensión *.STL que utilizarán los programas CAM para poder realizar el laminado. La extensión del archivo editable, SCAD, es incompatible con otros programas aunque permite importar y exportar archivos a Auto CAD que, aunque privado, permite más complejidad y posibilidades por si fueran necesarias.

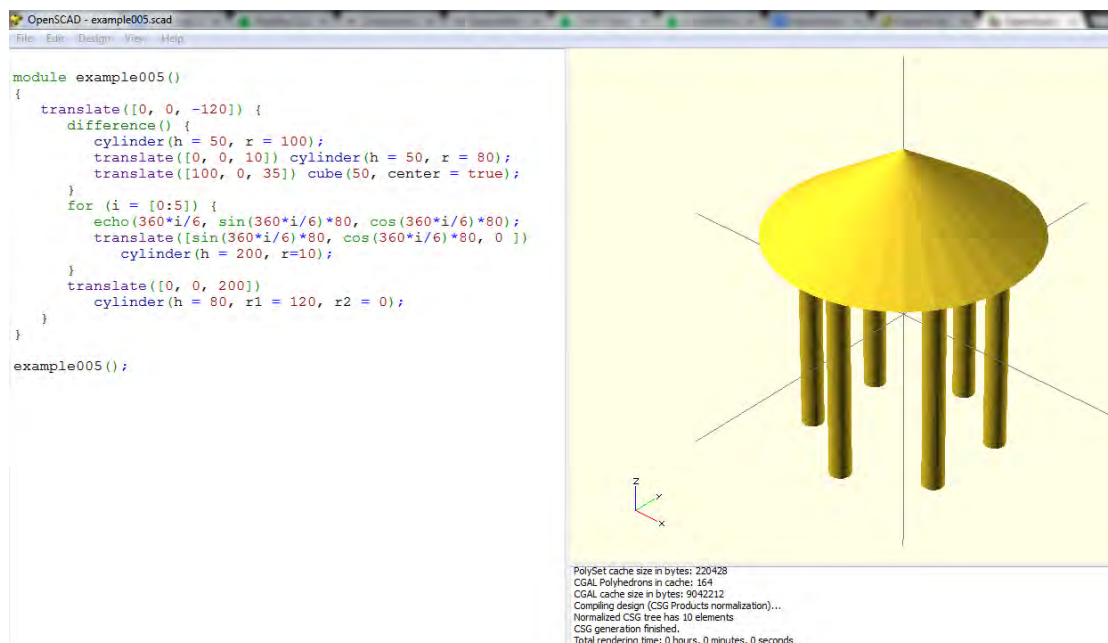


Figura 171. Ejemplo OpenSCAD.

- **Solidworks** es un programa privado, es necesario tener una licencia para poder utilizarlo. Puede realizar operaciones complejas de forma más sencilla, es más intuitivo que OpenSCAD y permite abrir y guardar prácticamente cualquier archivo que se haya realizado con un programa de CAD en sus diferentes extensiones. Fue posible redibujar las piezas hechas con OpenSCAD convirtiéndolas a STL y abriendo esta extensión con Solidworks. Permite realizar ensamblajes complejos y además extraer planos de los sólidos diseñados.

5.3.2 Programas CAM

CAM (*Computer Aided Manufacturing*), fabricación asistida por ordenador. Este tipo de programas generan las órdenes que puede entender la máquina utilizada para fabricar un diseño a partir del archivo CAD generado. En el campo de la impresión 3D este software genera las capas necesarias para construir el sólido deseado y las órdenes para controlar las entradas y salidas de una impresora 3D.

5.3.2.1 Laminador

Son los programas que transforman el diseño CAD en láminas del espesor que se especifique. En base a la configuración que se establezca calcula la cantidad de plástico que debe extruir. La calibración de la calidad de impresión de la impresora pasa por los laminadores. En este proyecto se ha trabajado con tres, Cura, Slic3r y Skeinforge, de los muchos (Kisslicer, RepSnapper, etc.) que existen.

- **Cura** [49] es un laminador creado por Ultimaker destinado a las máquinas de impresión 3D que fabrica. Este software ofrece una configuración relativamente simple y en comparación con el software Slic3r, en base a la experiencia generada en la realización de este proyecto, realiza una mejor laminación. Es decir, cuando la impresora imprime una capa puede utilizar múltiples secuencias de trayectorias para cubrir toda la superficie necesaria para fabricar capa a capa la pieza deseada. El software Cura genera las trayectorias de manera que el movimiento del cabezal es progresivo realizando un número inferior de movimientos en vacío volviendo a rellenar puntos en zonas que ya han sido cubiertas de material. Además genera el archivo en formato *.GCODE en un tiempo menor que el software Slic3r.

- **Slic3r** es un laminador muy utilizado, el panel de configuración es simple y permite controlar muchos parámetros de la impresión. En la experiencia que se ha tenido con este software se puede decir que ha servido para poder calibrar aproximadamente la impresora pero tiene bastantes errores como creación de condiciones o trayectorias que no se han especificado. Resulta insuficiente para una calibración precisa de la impresión ya que no permite configurar muchos

parámetros que, por tanto, no se pueden controlar. A través del enlace [50] se puede acceder a la descarga de un manual realizado por RepRapBCN.

- **Skeinforge** es un software más antiguo que los anteriores, ofrece multitud de variables que tanto Slic3r como Cura controlan por defecto y no permiten modificarlos. Es ideal para configurar prácticamente todos los parámetros de la impresión pero presenta una complejidad elevada, sin embargo cuando aparecen problemas de impresión es más sencillo afrontarlos pudiendo modificar exactamente los valores afectados. Se recomienda consultar los enlaces [11] y [51] para comenzar a manejar este software.

5.3.2.2 Programa de control de la impresora

Este tipo de software puede servir simplemente para controlar los movimientos de la impresora, de forma manual y automática introduciendo el código G generado por los laminadores. Pero también puede incluir los laminadores. Un ejemplo para el primer caso es Printron, más conocido como Pronterface y un ejemplo del segundo es Repetier-Host.

Existen varias opciones entre las que se puede elegir (MatterControl, ReplicatorG, RepSnapper, RepRap Host Software, send.py, reprap-utils, Printron, RebRep, Repetier-Host, X2sw) [52], en este caso se comenzó utilizando el programa Printron pero debido a los problemas que generaba se dejó de utilizar y se comenzó a utilizar Repetier-Host.

Para poder utilizar el software Printron es necesario realizar una instalación del software python, cinco archivos que se deben instalar con el orden correcto. Pero una vez instalado, en este caso, generaba muchos problemas para poder conectar la impresora y que el programa la reconociera. Una vez lograda la conexión y probando la impresión comenzó a pararse durante cada impresión.

Finalmente se dejó de utilizar Printron para comenzar a utilizar Repetier-Host. La instalación de este último es muy simple, instala todo lo necesario con un ejecutable. Funciona mejor, la conexión es muy sencilla, tiene más opciones de configuración de la impresora permitiendo definir la impresora 3D modelo Rostock. Sólo ha tenido algunos problemas en la carga de archivos a la tarjeta SD y, en ocasiones, se producen pausas no deseadas durante la impresión manteniéndose unos segundos en cada posición de impresión creando montículos de plástico extruido en cada una de ellas. Repetier-Host tiene la opción de incluir varios laminadores dentro de su entorno. De hecho aparecen en el entorno de control del programa los más utilizados, en general, como son slic3r y skeinforge. Además se pueden añadir los que se deseen y la última versión 1.0.1 incluye el laminador Cura.

5.3.2.3 Firmware

El firmware utilizado en esta impresora es el denominado como Marlin, se puede descargar en el enlace [53]. Este archivo se puede ver, editar y cargar a la placa electrónica utilizando el software Arduino [54]. Existen varias opciones de firmware a utilizar, se encuentran clasificados y se puede conocer sus diferencias en el enlace [55].

Con la descarga de Arduino se obtiene el driver de la placa electrónica Arduino Mega 2560. Windows tiene que reconocer la placa y asignarle un puerto COM. El driver se encuentra dentro de la carpeta donde se instala el programa Arduino. Normalmente se encuentra accediendo a la carpeta *Archivos de programa (ó Program Files)*. Una vez dentro se busca la carpeta *Arduino*. En este último directorio se encuentra la carpeta *Drivers* que es la que se debe seleccionar al final del proceso de instalación del driver descrito a continuación:

El proceso para poder mostrar a Windows donde buscar el driver se realiza entrando en *Panel de control*, clicando la opción *Hardware y Sonido* y dentro de ésta clicando *Impresoras y dispositivos*. A continuación entrar en *Administración de dispositivos* y buscar el dispositivo *desconocido*. Pulsando el botón derecho sobre el dispositivo aparece la opción de *Actualizar software...* Al pulsar sobre ella se debe seleccionar la opción *buscar el software en el ordenador*.

Una vez instalado el software Arduino, descargado el firmware Marlin e instalado el driver en el S.O. Windows 7. Proceder a abrir el programa *Arduino*. Una vez ejecutado el programa abrir la pestaña *File (Archivo)*, seleccionar *Open (Abrir)* y buscar el firmware *Marlin* en la carpeta donde se haya descargado. El archivo ejecutable se denomina como *Marlin.pde (*.ino* en las nuevas versiones (1.x.x) de Arduino). A continuación se selecciona la electrónica utilizada en la pestaña *Tarjeta (Board)*, en este caso se activa la tarjeta Arduino Mega 2560 y posteriormente el Puerto Serial (*Serial Port*): COM 4 en este caso, Windows lo asigna al instalar el driver de la placa.

El firmware Marlin es un programa genérico para el control de impresoras 3D. Es utilizado en máquinas de cinemática serial y en máquinas de cinemática paralela y resulta necesario realizar una configuración adaptada a cada impresora. Se debe definir parámetros como el tipo de placa electrónica utilizada, el tipo de termistor, el número de extrusores, si la cinemática es serie o paralela, las dimensiones de impresión, las temperaturas de impresión y de seguridad, las velocidades y aceleraciones o el número de pasos que debe dar cada motor para controlar la distancia que se va a desplazar el cabezal.

A continuación se detallan los ajustes básicos que se deben realizar para adaptar el firmware a la impresora 3D modelo Rostock que se construya.

Una vez abierto el archivo *Marlin.pde* en el software Arduino se selecciona la pestaña *Configuration.h*. Las líneas que se deben tener en cuenta son las siguientes:

```
// Este parámetro determina la velocidad de comunicación de la impresora.
#define BAUDRATE 250000
//#define BAUDRATE 115200

//// La siguiente selección define la placa electrónica instalada.
//10 = Gen7 custom (Alfons3 Version)
"https://github.com/Alfons3/Generation_7_Electronics"
// 11 = Gen7 v1.1, v1.2 = 11
// 12 = Gen7 v1.3
// 13 = Gen7 v1.4
// 3 = MEGA/RAMPS up to 1.2 = 3
// 33 = RAMPS 1.3 / 1.4 (Salidas potencia: Extruder, Fan, Bed)
// 34 = RAMPS 1.3 / 1.4 (Salidas potencia: Extruder0, Extruder1, Bed)
// 35 = RAMPS 1.3 / 1.4 (Salidas potencia: Extruder, Fan, Fan)
// 4 = Duemilanove w/ ATmega328P pin assignment
// 5 = Gen6
// 51 = Gen6 deluxe
// 6 = Sanguinololu < 1.2
// 62 = Sanguinololu 1.2 y posteriores
// 63 = Melzi
// 64 = STB V1.1
// 65 = Azteeg X1
// 66 = Melzi con ATmega1284 (version MaKr3d)
// 7 = Ultimaker
// 71 = Ultimaker (Electrónica antigua. Pre 1.5.4. es raro)
// 77 = 3Drag Controller
// 8 = Teensylu
// 80 = Rumba
// 81 = Printrboard (AT90USB1286)
// 82 = Brainwave (AT90USB646)
// 9 = Gen3+
// 70 = Megatronics
// 701= Megatronics v2.0
// 702= Minitronics v1.0
// 90 = Alpha OMCA board
// 91 = Final OMCA board
// 301 = Rambo
// 21 = Elefu Ra Board (v3)

#ifndef MOTHERBOARD
#define MOTHERBOARD 33 //Opción para RAMPS 1.4 con un extrusor (Extruder), la base calorífica (Bed) y ventilador.
#endif

// Esto define el número de extrusores
#define EXTRUDERS 1

//=====
```

```
//===== Configuración DELTA =====
//=====

// Activa Cinemática DELTA (cinemática paralela)
#define DELTA

// Distancia Centro-a-centro de los agujeros en las varillas diagonales.
#define DELTA_DIAGONAL_ROD 250.0 // mm

// Distancia horizontal desde el centro de la impresora, punta del
cabezal, al centro de la barra lisa de la torre. Este parámetro es
por defecto de 175 mm, en caso de no obtener en la impresión las
dimensiones adecuadas en los sentidos X e Y modificar este parámetro, si se disminuye se reduce la medida y al aumentarse se obtienen mayores tamaños en las impresiones.
#define DELTA_SMOOTH_ROD_OFFSET 183 // mm

// Distancia horizontal entre las juntas universales de la Plataforma y la punta del cabezal o centro de la impresora.
#define DELTA_EFFECTOR_OFFSET 33.0 // mm

// Distancia horizontal entre las juntas universales de los Carros y el centro de las barras lisas que forman las torres.
#define DELTA_CARRIAGE_OFFSET 22 // mm

// Distancia efectiva horizontal entre los extremos de las varillas diagonales.
#define DELTA_RADIUS (DELTA_SMOOTH_ROD_OFFSET-DELTA_EFFECTOR_OFFSET-DELTA_CARRIAGE_OFFSET)

// Posiciones X/Y efectivas de las tres torres verticales. #define
SIN_60 0.8660254037844386
#define COS_60 0.5
//Torre delantera izquierda
#define DELTA_TOWER1_X -SIN_60*DELTA_RADIUS
#define DELTA_TOWER1_Y -COS_60*DELTA_RADIUS
//Torre delantera derecha
#define DELTA_TOWER2_X SIN_60*DELTA_RADIUS
#define DELTA_TOWER2_Y -COS_60*DELTA_RADIUS
//Torre central trasera
#define DELTA_TOWER3_X 0.0
#define DELTA_TOWER3_Y DELTA_RADIUS

//=====
//===== Configuración Térmica =====
//=====
//
//--LO NORMAL ES 4.7kohm PULLUP!-- 1kohm pullup puede usarse en el
sensor del final caliente, usando la Resistencia y tabla adecuadas
//
//// Configuración del sensor de temperatura:
// -2 para termopar con MAX6675 (solo para sensor 0)
// -1 para termopar con AD595
```

```

// 0 no tiene asignación alguna
// 1 para el termistor de 100k - mejor opción para EPCOS 100k
(4.7k pullup)
// 15 para termistor 100k - B57550G0104 EPCOS 100K (4.7k pull-up)
// 2 para termistor 200k - ATC Semitec 204GT-2 (4.7k pullup)
// 3 para termistor de componentes mendel (4.7k pullup)
// 4 para termistor 10k!! No usar para final caliente del extru-
sor. Ofrece una mala resolución para altas temperaturas!!
// 5 para termistor 100K - ATC Semitec 104GT-2 (Usado en ParCan)
(4.7k pullup)
// 6 para 100k EPCOS - No tan precisa como la tabla 1 (creada
usando un termopar inestable) (4.7k pullup)
// 7 para termistor 100k Honeywell 135-104LAG-J01 (4.7k pullup)
// 71 para termistor 100k Honeywell 135-104LAF-J01 (4.7k pullup)
// 8 para 100k 0603 SMD Vishay NTCS0603E3104FXT (4.7k pullup)
// 9 para 100k GE Sensing AL03006-58.2K-97-G1 (4.7k pullup)
// 10 para termistor 100k RS 198-961 (4.7k pullup)
// 60 para 100k Maker's Tool Works Kapton Bed Termistor
//
// Tablas de 1k ohm pullup - Esto no es normal, tendría que haber
cambiado 4.7k por 1k (Pero da mayor precisión y PID más estable)
// 51 para termistor 100k - EPCOS (1k pullup)
// 52 para termistor 200k - ATC Semitec 204GT-2 (1k pullup)
// 55 para termistor 100k - ATC Semitec 104GT-2 (Usado en ParCan)
(1k pullup)

#define TEMP_SENSOR_0 1
#define TEMP_SENSOR_1 0
#define TEMP_SENSOR_2 0
#define TEMP_SENSOR_BED 1

//=====
//===== Configuración Mecánica =====
//=====
const bool X_MAX_ENDSTOP_INVERTING = false; // seleccionar true
para invertir la lógica del final de carrera.
const bool Y_MAX_ENDSTOP_INVERTING = false;
const bool Z_MAX_ENDSTOP_INVERTING = false;

//Dirección de giro de los motores, se puede controlar con estos
parámetros o invirtiendo la conexión en la placa electrónica.
#define INVERT_X_DIR true
#define INVERT_Y_DIR true
#define INVERT_Z_DIR true
#define INVERT_E0_DIR false

// CONFIGURACIÓN FINALES DE CARRERA:
// Establece la dirección de los finales de carrera al hacer
homing; 1=MAX, -1=MIN
#define X_HOME_DIR 1
#define Y_HOME_DIR 1
#define Z_HOME_DIR 1

```



```
#define min_software_endstops true // Si true, los ejes no se mo-
verán a coordenadas menores que HOME_POS.
#define max_software_endstops true // Si true, los ejes no se mo-
verán a coordenadas mayores que las definidas en las longitudes
siguientes.

// Límites de movimiento tras homing
#define X_MAX_POS 90
#define X_MIN_POS -90
#define Y_MAX_POS 90
#define Y_MIN_POS -90
#define Z_MAX_POS 400
#define Z_MIN_POS 0

#define X_MAX_LENGTH (X_MAX_POS - X_MIN_POS)
#define Y_MAX_LENGTH (Y_MAX_POS - Y_MIN_POS)
#define Z_MAX_LENGTH (Z_MAX_POS - Z_MIN_POS)

// Posición de los finales de carrera al hacer homing
#define MANUAL_HOME_POSITIONS // Si definido, MANUAL_*_HOME_POS
que se encuentra definida a continuación será usada
// #define BED_CENTER_AT_0_0 // Si definido, el centro de la base
de impresión está en (X=0, Y=0)

// Localización de finales de carrera en Homing manual:
// Para robots delta esto significa el tope superior y el centro en
coordenadas cartesianas del volumen de impresión.
#define MANUAL_X_HOME_POS 0
#define MANUAL_Y_HOME_POS 0
#define MANUAL_Z_HOME_POS 400 // Para delta: Distancia entre la
boquilla y la superficie de impresión tras homing. Por defecto
402.

//// CONFIGURACIÓN DE MOVIMIENTO
#define NUM_AXIS 4 // El orden de los ejes en todos los arrays re-
lativos a los ejes es X, Y, Z, E
#define HOMING_FEEDRATE {7500, 7500, 7500, 0} // establece las ve-
locidades para homing (mm/min), 7500 es una velocidad media.

#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT {80,80,80,153.3414046} // pa-
sos por mm para la impresora Rostock del proyecto

#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE {5000, 5000, 5000, 25} // velocidad
máxima para los ejes de movimiento y extrusor (mm/s)

#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION {10000,10000,10000,200} // X, Y,
Z, E velocidad máxima de inicio de movimientos acelerados.

#define DEFAULT_ACCELERATION 7500 // X, Y, Z, E acelera-
ción máxima por defecto en mm/s^2 durante la impresión

#define DEFAULT_RETRACT_ACCELERATION 200 // X, Y, Z, E acelera-
ción máxima in mm/s^2 para retracciones
```

```
// El cambio de velocidad que no requiere de aceleración (es decir, el software podría asumir que se puede hacer de forma instantánea)
#define DEFAULT_XYJERK          15.0    // (mm/s)
#define DEFAULT_ZJERK           15.0    // (mm/s)
#define DEFAULT_EJERK           0.5     // (mm/s)
```

A continuación el firmware Marlin debe estar preparado para su verificación y posterior carga en la placa electrónica.

Capítulo 6

Presupuesto

6.1 Componentes imprimibles

En este apartado se analizarán los costes que suponen imprimir las piezas en una impresora 3D, en este caso en un modelo Thing-o-matic de Makerbot.

En primer lugar se presentan en la Tabla 14 los datos de coste de material. El plástico ABS seleccionado se ha obtenido del distribuidor RepRapWorld.com, el cálculo de la longitud por kilogramo de ABS se ha extraído de la aplicación software *3D Printer Calculator* [56] y el precio de la luz es una estimación aproximada.

Datos material	
Tipo de material	ABS
Peso de la bobina	1 Kg
Diámetro del filamento	1,75 mm
Longitud por bobina	395954 mm
Volumen	2,41 mm ³ /mm
Datos coste de la energía	
Precio KW/h	0,18€

Tabla 14. Datos coste material y energía.

Con el software CAD *Solidworks*, donde se han dibujado todas las piezas imprimibles del proyecto, se ha calculado gracias al apartado “Propiedades físicas” del que dispone el programa y donde aparece el volumen (V) de cada sólido creado. El tiempo (t), que aparece en la Tabla 15, es el empleado por la impresora en imprimir cada componente individualmente. Por tanto se muestra en cada fila el volumen y tiempo para cada pieza sin tener en cuenta la cantidad a fabricar. En la fila “Totales” aparecen sumados los datos de los volúmenes de todas las piezas a fabricar, teniendo en cuenta la cantidad de cada una de ellas. Igual que con el volumen sucede con los tiempos de impresión.

Los costes del plástico ABS y de la energía se han multiplicado por el número de piezas de cada fila.

Para realizar una estimación de la cantidad de energía que puede consumir el proceso de impresión de una pieza se van a tener en cuenta la potencia que ofrece la fuente de alimentación, 360W, y la potencia aproximada que puede consumir un ordenador de sobremesa a pleno rendimiento, 320W [57]. Suponemos por tanto un consumo de 680W para el cálculo del gasto en energía.

El coste que suponen los componentes imprimibles comparados con el total es mínimo. Si se calcula el porcentaje sobre el presupuesto final es aproximadamente el 1.5% el coste por este concepto. Disminuir la cantidad de componentes no im-

primibles supone, en consecuencia, reducir el coste de este tipo de impresoras y hacerlas así más asequibles aún.

Pieza	Ud	V [mm ³]	t [min]	Coste ABS	Energía
Plataforma	1	23110,59	108	0,43€	0,22€
Carro	3	14433,25	75	0,93€	0,15€
Final rodamiento	3	19956,83	110	1,29€	0,22€
Final motor	3	34888,09	180	2,25€	0,37€
Final bowden	1	6956,88	90	0,15€	0,18€
Junta	12	440,65	5	0,11€	0,01€
Mandíbula	12	1254,70	10	0,32€	0,02€
Porta bolígrafo	1	8594,51	90	0,19€	0,18€
Cuerpo extrusor	1	13489,61	80	0,29€	0,16€
Eje	1	764,54	10	0,02€	0,02€
Puntal	1	1391,92	10	0,03€	0,02€
Porta rodamiento	1	5496,74	32	0,12€	0,07€
Totales		287983,46	1695	6,13€	1,63€
Coste total impresión de piezas (Coste ABS + Energía)					7,77€

Tabla 15. Coste impresión de componentes.

Por tanto, el coste de las piezas imprimibles es de SIETE EUROS CON SETENTA Y SIETE CÉNTIMOS. El gasto total del plástico ABS es de 0,727 kilogramos y la inversión de tiempo supone en total 28h 15', teniendo en cuenta solamente el tiempo de la impresora.

6.2 Componentes no imprimibles (Vitaminas)

En este apartado se presenta el presupuesto realizando bloques en función de los tipos de componentes y los conjuntos que forman entre ellos. En algunos casos la compra se puede realizar por packs disminuyendo el coste individual y se presenta un grupo de elementos con un solo precio.

Ref	Conjunto	Ud	Descripción	€/Ud	Subtotal
1	Contrachapado	1	Tablero	11,25€	11,25€
A	Sub Total Contrachapado (1)				11,25€

Tabla 16 Presupuesto Contrachapado

El proveedor del que se ha adquirido el componente contrachapado ha sido Leroy Merlin. Es un material fácil de encontrar y como se puede ver en la Tabla 16 el coste no es muy elevado y no tiene asociados gastos de envío.

El porcentaje sobre el presupuesto final total de este concepto es del 2.2%.

Ref	Conjunto	Ud	Descripción	€/Ud	Subtotal
2	Hot end	Pack	J-Head Compatible 1.75/0.5mm	31,99€	31,99€
		1	J-Head: Boquilla 0.5mm		
		1	J-Head: Soporte para boquilla		
		1	J-Head: Tornillo cabeza hueca		
		1	Termistor 100K		
		1	Resistencia calorífica,6R8 2.5W		
		1	Tubo PTFE, 2int/4ext diámetro (10cm)		
3		1	Masilla Térmica	5,41€	5,41€
B	Sub Total Hot End (2+3)				37,40€

Tabla 17 Presupuesto Hot End

Los elementos que componen este conjunto (Tabla 17) son el J-Head y la masilla utilizada para fijar el termistor y la resistencia a la boquilla. La masilla térmica se ha adquirido en Leroy Merlin con lo que no se añaden gastos de envío. Sin embargo el proveedor del pack J-Head [58] se encuentra en Holanda, RepRapWorld.com es el sitio en Internet donde se puede adquirir.

En este proyecto se ha perseguido realizar la compra del mayor número de componentes que oferte un mismo proveedor para disminuir los gastos de envío. Este distribuidor ha suministrado muchos componentes de esta impresora por lo que el coste del envío de todos ellos aparece unificado en la Tabla 26.

El presupuesto invertido en el conjunto Hot End, sin tener en cuenta los gastos de envío, supone el 7.2% del presupuesto total final.

Ref	Conjunto	Ud	Descripción	€/Ud	Subtotal
4	Barras	6	Lisas	2,99€	17,94€
5		2	Fibra de vidrio (varilla 1 metro)	3,49€	6,98€
C	Sub Total Barras (4+5)				24,92€

Tabla 18 Presupuesto Barras

El conjunto (Tabla 18) barras engloba las barras lisas y las varillas de fibra de vidrio. Estas últimas se pueden adquirir en Leroy Merlin sin tener, por tanto, que añadir ningún gasto de envío. Las barras lisas [59] que aparecen en este presupuesto se adquieren del proveedor RepRapWorld.com.

El porcentaje del presupuesto total final que supone este concepto es del 4.7% sin tener en cuenta los gastos de envío.

Ref	Conjunto	Ud	Descripción	€/Ud	Subtotal
6	Rodamientos	3	Lineal LM8UU (Pack 2 Ud.)	1,99€	5,97€
7		4	Radial 608ZZ	0,25€	1,00€
8		1	Radial MR105ZZ (Pack 10 Ud.)	3,50€	3,50€
D	Sub Total Rodamientos (6+7+8)				10,47€

Tabla 19 Presupuesto Rodamientos

En el conjunto rodamientos se reúnen todos los rodamientos usados en la impresora. Las referencias 6 [60] y 7 [61] de la Tabla 19 se pueden adquirir del proveedor RepRapWorld.com.

El mini rodamiento radial MR105ZZ se ha comprado en un pack de 10 unidades [62] en el sitio web ebay.com con los gastos de envío gratuitos.

Este conjunto, sin tener en cuenta los gastos de envío que se contabilizarán como un conjunto independiente, representa un 2% del presupuesto total final.

Ref	Conjunto	Ud	Descripción	€/Ud	Subtotal
9	Poleas y correas	5	Correa dentada T2.5 (1 metro)	3,99€	19,95€
10		3	Polea aluminio T2.5	3,99€	11,97€
11		1	Engranaje dentado impulsor MK8	8,00€	8,00€
E	Sub Total Poleas y correas (9+10+11)				39,92€

Tabla 20 Presupuesto Poleas y correas

Este conjunto está formado por poleas y correas. En él se incluye además el engranaje dentado impulsor MK8. Cada componente se ha obtenido de un proveedor diferente.

El proveedor de la correa dentada [63] ha sido LeapTo3D lo que supone un coste adicional por gastos de envío que se incluyen en la Tabla 26 y se unifican en el concepto Gastos de envío. Las poleas de aluminio [64] se encuentran disponibles en la web RepRapWorld.com. Y por último, el engranaje MK8 solamente se ha podido localizar un distribuidor en Dinamarca, a través de la web RepRap.me. El engranaje impulsor MK8 [65] ha tenido gastos de envío que se incluyen igualmente en el concepto mostrado en la Tabla 26. Al proveedor RepRap.me se han adquirido otros componentes cuyos gastos aparecen unificados en dicha tabla.

El conjunto Correas y poleas constituye un 7.7% del presupuesto total final sin tener en cuenta los gastos de envío.

Ref	Conjunto	Ud	Descripción	€/Ud	Subtotal
12	Electrónica	1	Base calorífica Heated Bed PCB MK2	18,99€	18,99€
13		1	Fuente de alimentación	19,42€	19,42€
14		2	Ventilador 30x30x10cm 12V	2,49€	4,98€
15		2	Ventilador 50x50x10cm 12V	2,99€	5,98€
16	Pack		RAMPS 1.4 Prusa Pack	164,99€	164,99€
		1	RAMPS 2560 Electronics - Atmega 2560		
		1	RAMPS 1.4 - DIY		
		4	Drivers Motores Stepstick A4988		
		4	Disipadores para drivers		
		1	Termistor		
		1	Resistencia calorífica, 6R8 2.5W		
		3	Finales de carrera ópticos - DIY kit		
		5	Motor NEMA 17 Paso a paso		
	Cableado	4	Cable 4 hilos, Rojo Azul Verde Negro		
		3	Cable 3 hilos, Rojo Azul Negro		
		2	Cable 2 hilos, Rojo Negro		
		1	Cable Potencia 2 hilos Rojo Negro		
F+G	Sub Total Electrónica + Cableado (12+13+14+15+16)				214,36€

Tabla 21 Presupuesto Electrónica y cableado

En la Tabla 21 se unen los conjuntos Electrónica y Cableado. El motivo es que los cables necesarios para la construcción de la impresora se incluyen dentro del RAMPS 1.4 Prusa Pack [66]. RepRapWorld.com es el proveedor de este pack así como de la base calorífica [67] y de los ventiladores de 30 [68] y de 50 [69] mm. La fuente de alimentación [70] se adquiere en el sitio web Amazon por estar exenta del pago por gastos de envío.

Este conjunto supone el 41.3% del presupuesto total final, sin tener en cuenta los gastos de envío. Es el mayor gasto del proyecto pero se puede disminuir utilizando componentes reciclados en el caso de los ventiladores o la fuente de alimentación. Además si se dispone de tiempo y de los recursos adecuados la base calorífica es posible fabricarla y las placas electrónicas en ocasiones pueden verse ofertadas en Internet como por ejemplo en la web ebay.com.

Ref	Conjunto	Ud	Descripción	€/Ud	Subtotal
17	Fungibles	1	Cinta Kapton	15,99€	15,99€
18		1	Plástico ABS (1 kg)	16,99€	16,99€
19		100	Bridas	0,05€	5,30€
H	Sub Total Fungibles (17+18+19)				38,28€

Tabla 22 Presupuesto Fungibles

Este conjunto lo forman los elementos fungibles (Tabla 22). La cinta Kapton [71] y la bobina de plástico ABS [72] se han adquirido al proveedor RepRap-World.com. En el caso de las bridas [73] se encuentran en ebay.com siendo gratuitos los gastos de envío.

Los fungibles representan un 7.4% del presupuesto total final.

Ref	Conjunto	Ud	Descripción	€/Ud	Subtotal
20	Otros	1	Tubo Bowden PTFE (2 metros)	3,00€	3,00€
21		1	Espejo 20x20 cm (pack 4)	5,78€	5,78€
I	Sub Total Otros (20+21)				8,78€

Tabla 23 Presupuesto Otros

El tubo Bowden de PTFE [74] (Teflón) se ha adquirido a través de la web ebay.com a un proveedor de China. En el caso de los espejos [75] es muy sencillo adquirirlos ya sea por la tienda en Internet o físicamente en Ikea. En este caso no ha tenido gastos de envío.

Este conjunto (Tabla 23) representan un 1.7% del presupuesto total final.

Ref	Conjunto	Ud	Descripción	€/Ud	Subtotal
22	Muelles	1	Para nivelar superficie impresión(pack 4)	3,63€	3,63€
23		1	Para extrusión del plástico(pack 4)	3,63€	3,63€
J	Sub Total Muelles (22+23)				7,26€

Tabla 24 Presupuesto Muelles

Los muelles necesarios para este proyecto no son fáciles de adquirir en el mercado. Sin embargo son fáciles de conseguir ya que los bolígrafos tienen este tipo de muelles que deben ajustarse en tornillos M3. En el caso de esta impresora los utilizados para la extrusión del plástico son reciclados y se ha comprado un pack de cuatro unidades para nivelar la base calorífica. El proveedor al que se ha adquirido los muelles es RepRap.me [76].

Este conjunto (Tabla 24) supone un 1.4% del presupuesto total final.

Ref	Conjunto	Ud	Descripción	€/Ud	Subtotal
24	Tornillería	6	M2x10mm	0,062€	0,37€
25		12	M3x10mm	0,053€	0,64€
26		28	M3x12mm	0,049€	1,37€
27		42	M3x16mm	0,051€	2,14€
28		8	M3x30mm	0,073€	0,58€
29		70	M3 tuerca	0,007€	0,46€
30		4	M3 tuerca autoblocante	0,050€	0,20€
31		80	M3 arandelas	0,001€	0,08€
32		8	M4x20mm	0,036€	0,28€
33		6	M4x25mm	0,041€	0,24€
34		6	M4x30mm	0,053€	0,32€
35		6	M4x40 mm	0,058€	0,35€
36		14	M4 tuerca	0,004€	0,06€
37		40	M4 arandelas	0,004€	0,16€
38		3	M8x35 mm	0,129€	0,39€
39		3	M8 tuerca	0,016€	0,05€
40		7	M8 arandelas	0,015€	0,11€
K	Sub Total Tornillería (24+25+26+27+28+29+30+31+32+33+34+35+36+37+38+39+40)				7,79€

Tabla 25 Presupuesto Tornillería

El conjunto de la tornillería se ha obtenido del proveedor Ferretería Anserjo, S.A. [77].

Este conjunto (Tabla 25) representa un 1.5% del presupuesto total final.

Ref	Gastos de envío por proveedor	Sub Total
41	ReprapWorld.com (Elementos 2, 4, 6, 7, 10, 12, 14, 15, 16,17, 18, 23)	13,35€
42	LeapTo3D (Elementos 9)	6,00€
43	Reprap.me (Elementos 11, 22)	3,09€
L	Sub Total Gastos de envío (41+42+43)	22,44€

Tabla 26 Presupuesto Gastos de envío

En la Tabla 26 se encuentran definidos los gastos por proveedor. Realizando el pedido de todos los componentes que se vayan a comprar al mismo proveedor de una sola vez se disminuyen los costes por gastos de envío. Es importante organizar los componentes necesarios y los proveedores que los distribuyen.

Los gastos de envío constituyen un 4.3% del presupuesto total final.

Ref	Conjunto	Sub Total
A	Contrachapado (1)	11,25€
B	Hot End (2+3)	37,40€
C	Barras (4+5)	24,92€
D	Rodamientos (6+7+8)	10,47€
E	Poleas y correas (9+10+11)	39,92€
F+G	Electrónica + Cableado (12+13+14+15)	214,36€
H	Fungibles (16+17+18)	38,28€
I	Otros (19+20)	8,78€
J	Muelles (21+22)	7,26€
K	Tornillería (24+25+26+27+28+29+30+31+32+33+34+35+36+37+38+39+40)	7,79€
Sub Total sin gastos de envío (A+B+C+D+E+F+G+H+I+J+K)		400,43€
L	Gastos de envío (41+42+43)	22,44€
Sub Total (A+B+C+D+E+F+G+H+I+J+K+L)		422,87€

Tabla 27. Sub Total.

IVA (21%) del Sub Total	88,80€
Sub Total (A+B+C+D+E+F+G+H+I+J+K+L)	422,87€
TOTAL Componentes No Imprimibles	511,67€

Tabla 28. Presupuesto Total Componentes No Imprimibles.

El gasto total que suponen los componentes no imprimibles es de QUINIEN-TOS ONCE EUROS CON SESENTA Y SIETE CÉNTIMOS.

6.3 Presupuesto Total

Aunque el gasto en componentes imprimibles suponga un gasto muy pequeño en comparación con el de los componentes no imprimibles el costo final de la impresora es la suma de los dos conceptos. En la Tabla 29 se presenta, por tanto, el presupuesto final.

Coste total Componentes Imprimibles (Coste ABS + Energía)	7,77€
Coste total Componentes No Imprimibles (Sub Total + IVA (21%))	511,67€
PRESUPUESTO TOTAL	519,44€

Tabla 29. Presupuesto Final.

El presupuesto total final es de QUINIENTOS DIECINUEVE EUROS CON CUARENTA Y CUATRO CÉNTIMOS.

El presupuesto final de 519€ se encuentra dentro de las que se pueden considerar impresoras “*low cost*” o de bajo coste. Existen impresoras desde, aproximadamente, 200€. Imprimen tamaños de piezas del orden de 100 x 100 x 100 mm. En internet [78], localizadas en varios lugares del mundo se pueden encontrar muchas impresoras diferentes desde los 200€ hasta los 800€ que se podría establecer como rango de impresoras de bajo coste. Entre estas impresoras se pueden encontrar varios modelos comercializados y otros en los que se distribuyen las herramientas necesarias para poder construirla desde cero. Estas últimas se pueden denominar como *impresoras 3D de fabricación casera*.

Se puede poner el ejemplo comercializado sin montaje. Modelo para ser montado por el usuario como es la impresora 3D modelo Prusa i3 distribuida por la empresa Bq por 509.9€. También la impresora 3D Prusa Air 2. El departamento de robótica de la Universidad Carlos III dispone de un modelo. Su precio varía entre los 400€ comprando componentes para fabricar 20 impresoras hasta el precio que se estima en la web de rewrap.org [79]. Según esta web el coste del material son 500€ y el coste total alrededor de 800€.

En el caso de las impresoras 3D de cinemática paralela se ha calculado el precio que pueda suponer adquirir los componentes para construir la impresora Kossel XL en la web creada por Johann C. Rocholl [80]. El coste ascendería, sin tener en cuenta los componentes electrónicos, a \$555 (aproximadamente 430€).

La impresora 3D modelo Rostock presentada en este proyecto se encuentra dentro de este rango con un precio medio de adquisición. Por tanto, claramente, es una impresora de bajo coste.

Capítulo 7

Evaluación y resultados

En este capítulo se presentan y analizan los resultados obtenidos en dos tipos de pruebas realizadas.

Por un lado se ha realizado una prueba de calibración de la impresión. Se han realizado varias impresiones de una misma pieza donde se han variado varios parámetros que se han considerado relevantes en la calidad de la impresión. Por otro lado se han puesto a prueba los límites de la impresora probando las capacidades dimensionales, de movimientos y calidades que puede ofrecer la impresora 3D modelo Rostock.

Además se realiza una comparativa con las otras impresoras del parque que se encuentra disponible en la Universidad Carlos III de Madrid.

7.1 Calibración de la impresión

Para las pruebas de impresión se ha utilizado el software Cura, versión 14.07, para laminar el objeto en capas. Se ha considerado que el recorrido del cabezal generado por este software es óptimo y ha sido el factor determinante para su elección.

Se ha elegido la pieza imprimible *Mandíbula* (Figura 64) para la realización de las pruebas para la calibración de la impresión. Debido a que la pieza tiene dimensiones pequeñas no es fácil imprimirla sola ya que no se enfría lo suficiente la última capa impresa antes de comenzar con la siguiente. Se imprimen, por tanto, seis copias de la misma pieza en cada prueba.

Los resultados de las pruebas realizadas se muestran en imágenes junto con las configuraciones aplicadas al software Cura. Los parámetros que se ha considerado que influyen en mayor medida en la calidad de la impresión son los que se muestran en la Tabla 30. Las diferentes pruebas que se han realizado modifican estos parámetros para mejorar el acabado de la impresión. Los parámetros modificados en cada prueba son los que se muestran en sus respectivas tablas de configuración y no se mencionan los que permanezcan constantes.

El material utilizado para la impresión de estas pruebas es PLA. La temperatura recomendada por el fabricante y distribuidor de la bobina que se va a utilizar es de 220°C. En pruebas anteriores se ha constatado que la temperatura óptima para la base es de 70°C. Mejora la adherencia de la primera capa si sobre el espejo se aplica una fina capa de laca, como la utilizada en peluquería.

7.1.1 Prueba 1

CONFIGURACIÓN BÁSICA (<i>BASE</i>)		
Calidad (<i>quality</i>):		
Altura de capa (<i>layer height</i>)	0.25	mm
Grosor de la cáscara (<i>shell thickness</i>)	1,2	mm
Habilitar retracción (<i>enable retraction</i>)	Sí(yes)	
Relleno (<i>fill</i>):		
Espesor inferior/superior (<i>bottom/top thickness</i>)	1,2	mm
Densidad de relleno (<i>fill density</i>)	100	%
Velocidad y temperature (<i>speed and temperature</i>):		
Velocidad* de impresión (<i>print speed</i>)	30	mm/s
Temperatura de impresión (<i>printing temperature</i>)	220	°C
Temperatura de la base (<i>bed temperature</i>)	70	°C
Filamento (<i>filament</i>)		
Diámetro (<i>diameter</i>)	1.71	mm
Flujo (<i>flow</i>)	100	%
CONFIGURACIÓN AVANZADA (<i>ADVANCED</i>)		
Retracción (<i>retraction</i>):		
Velocidad (<i>speed</i>)	30	mm/s
Distancia (<i>distance</i>)	5	mm
Velocidad (<i>speed</i>):		
Velocidad de desplazamiento (<i>travel speed</i>)	60	mm/s
Velocidad capa inferior (<i>bottom layer speed</i>)	15	mm/s
Velocidad relleno (<i>infill speed</i>)	40	mm/s
Velocidad perímetro externa (<i>outer shell speed</i>) (0=Velocidad*)	0	mm/s
Velocidad perímetro interior (<i>inner shell speed</i>)	0	mm/s
CONFIGURACIÓN EXPERTO (<i>EXPERT CONFIG</i>)		
Retracción (<i>retraction</i>):		
Aumento de Z si retracción (<i>z hop when retracting</i>)	3	mm

Tabla 30. Configuración prueba 1.

En la Figura 172 se observa el resultado de esta prueba. Las zonas que requieren un acabado más fino no se han formado correctamente. Zonas como son el taladro interior que permite la fijación de la varilla tiene rebabas de manera que no llega a formar un círculo. Las dos orejetas que formarían el eje de rotación no se han construido las capas perfectamente verticales. Esto es debido en gran parte a la retracción que no ha cumplido la función que se esperaba formando hilos en los desplazamientos.

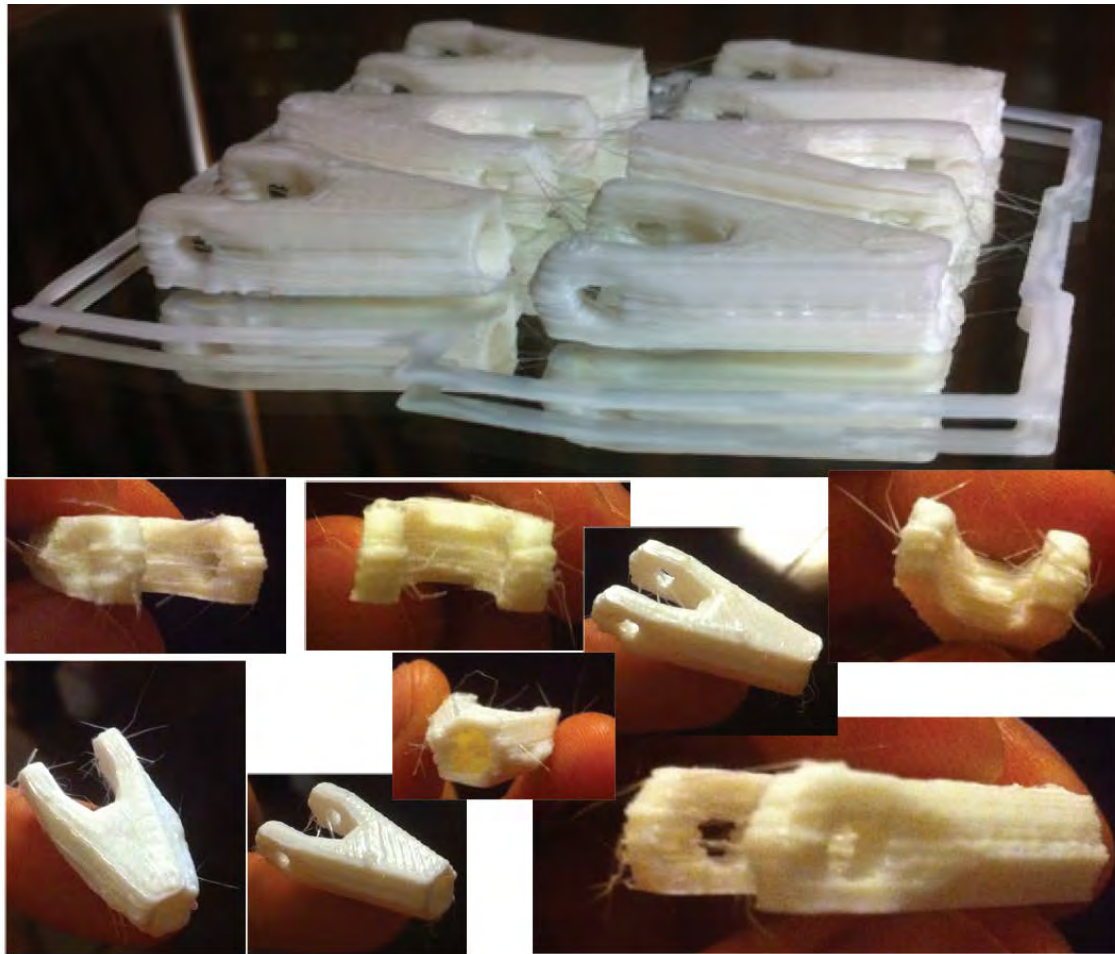


Figura 172. Resultado impresión prueba 1.

7.1.2 Prueba 2

CONFIGURACIÓN BÁSICA (<i>BASE</i>)		
Velocidad y temperature (<i>speed and temperature</i>):		
Velocidad de impresión (<i>print speed</i>)	80	mm/s
CONFIGURACIÓN AVANZADA (<i>ADVANCED</i>)		
Retracción (<i>retraction</i>):		
Distancia (<i>distance</i>)	0	mm
Velocidad (<i>speed</i>):		
Velocidad de desplazamiento (<i>travel speed</i>)	100	mm/s
Velocidad relleno (<i>infill speed</i>)	0	mm/s

Tabla 31. Configuración prueba 2.

En la Figura 173 se muestra el resultado de la prueba 2. La modificación fundamental es la supresión de la retracción. Esta función no da buen resultado y como se observa no se producen tantos hilos en los desplazamientos. Esta ausencia de hilos puede ser debida al aumento de la velocidad de desplazamiento. Sin

embargo continúa construyendo las orejetas con variaciones en la verticalidad y dejando muchas rebabas. Los taladros de diámetro 5 donde se alojan las varillas presentan una mayor cilindridad pero continúan siendo pequeños y algo deformados.



Figura 173. Resultado prueba 2.

7.1.3 Prueba 3

CONFIGURACIÓN BÁSICA (<i>BASE</i>)		
Filamento (<i>filament</i>)		
Flujo (<i>flow</i>)	92	%

Tabla 32. Configuración prueba 3.

En esta prueba se ha disminuido el flujo de material plástico fundido para intentar eliminar los excesos de material que forman las rebabas. En las primeras capas se ha disminuido el flujo al 90% aumentándolo hasta el 92% una vez asentada la base de la pieza. Como se puede observar en la Figura 174, las capas superiores no han tenido el material suficiente debido a esta disminución del flujo. Las últimas capas deben dejar una superficie acabada cerrando el diámetro donde se inserta la varilla. Este diámetro, sin embargo, tiene en este caso una forma cilíndrica más definida aunque siguen apareciendo rebabas.

En todo caso el acabado obtenido es considerablemente mejor que en los casos anteriores.



Figura 174. Resultado prueba 3.

7.1.4 Prueba 4

CONFIGURACIÓN BÁSICA (<i>BASE</i>)		
Velocidad y temperature (<i>speed and temperature</i>):		
Velocidad de impresión (<i>print speed</i>)	100	mm/s
Filamento (<i>filament</i>)		
Flujo (<i>flow</i>)	90	%
CONFIGURACIÓN AVANZADA (<i>ADVANCED</i>)		
Velocidad (<i>speed</i>):		
Velocidad de desplazamiento (<i>travel speed</i>)	150	mm/s
Velocidad capa inferior (<i>bottom layer speed</i>)	40	mm/s

Tabla 33. Configuración prueba 4.

En este caso se ha probado a aumentar las velocidades y disminuir el flujo al 90% para mejorar el acabado y la verticalidad de las orejetas. El resultado no ha sido mejor que en la configuración de la prueba anterior. Además las capas superiores no han cubierto la superficie dejando huecos de nuevo. Para evitar este

problema se ha aumentado sólo en la última capa el flujo al 100%. Esta medida no ha sido suficiente para mejorar el acabado final de la parte superior.



Figura 175. Resultado prueba 4.

7.1.5 Prueba 5

CONFIGURACIÓN BÁSICA (<i>BASE</i>)		
Velocidad y temperature (<i>speed and temperature</i>):		
Velocidad de impresión (<i>print speed</i>)	150	mm/s
Filamento (<i>filament</i>)		
Flujo (<i>flow</i>)	95	%
CONFIGURACIÓN AVANZADA (<i>ADVANCED</i>)		
Velocidad (<i>speed</i>):		
Velocidad capa inferior (<i>bottom layer speed</i>)	60	mm/s

Tabla 34. Configuración prueba 5.

En esta prueba se ha aumentado la velocidad de impresión igualándola con la velocidad de desplazamiento a 150 mm/s. El resultado final de este aumento no es favorable en acabado final ni para lograr que las dimensiones sean las correctas. El cilindro interior no presenta una correcta cilindridad llegándose a ovalar en su parte más externa. Las rebabas aumentan (Figura 176) en las zonas críticas. La adhesión a la base de la primera capa ha sido muy problemática debido a la alta velocidad de la capa inferior (60 mm/s) y a que no se ha utilizado ningún elemento que favorezca esta fijación. Además la capa superior no se ha llenado completamente apareciendo los huecos de la misma forma que en las pruebas 3 y 4 aunque se haya aumentado ligeramente el flujo de extrusión hasta el 95%.



Figura 176. Resultados prueba 5.

7.1.6 Prueba 6

CONFIGURACIÓN BÁSICA (<i>BASE</i>)		
Velocidad y temperature (<i>speed and temperature</i>):		
Velocidad de impresión (<i>print speed</i>)	30	mm/s
Filamento (<i>filament</i>)		
Diámetro (<i>diameter</i>)	1.745	mm
CONFIGURACIÓN AVANZADA (<i>ADVANCED</i>)		
Velocidad (<i>speed</i>):		
Velocidad de desplazamiento (<i>travel speed</i>)	120	mm/s
Velocidad capa inferior (<i>bottom layer speed</i>)	15	mm/s

Tabla 35. Configuración prueba 6.

En esta prueba se aplica laca de peluquería al espejo de la base para asegurar una correcta adhesión de la capa inferior. Además se disminuye la velocidad para esta primera capa impresa hasta los 15 mm/s como se observa en la Tabla 35.

En esta ocasión se ha disminuido la velocidad de impresión hasta 30 mm/s manteniendo alta la velocidad de desplazamiento. Se ha modificado el diámetro del filamento poniendo el valor que aporta el fabricante en lugar del fijado previamente obtenido mediante varias mediciones en distintos puntos del plástico.

El resultado es el mejor que se ha obtenido. Se hace evidente que si la velocidad de desplazamiento es alta no va a influir en la precisión del cabezal. La velocidad de impresión tan baja hace que todas las capas se asienten correctamente y no se produzcan “arrastrés” de material recién depositado por el cabezal.

En cuanto al acabado, el cilindro de diámetro 5 mm aparece perfectamente estructurado, la superficie no presenta prácticamente rebabas ni huecos en las capas superiores. También la verticalidad de las orejetas es aceptable aunque no perfecta y los taladros destinados para ser el eje de rotación de esta pieza tienen el diámetro correcto y circular.



Figura 177. Resultados prueba 6.

7.1.7 Conclusiones

Las capacidades de este modelo de impresora, en cuanto a calibración se refiere, son muy elevadas. En las máquinas de cinemática serial existen limitaciones de aceleración y velocidad mayores que las que presenta una máquina de cinemática paralela. Mientras que en las pruebas realizadas se ha variado la velocidad de impresión desde 30 hasta los 150 mm/s con aceleraciones que pueden alcanzar los 7500 mm/s² sin pérdida de precisión. En el caso de las MCS se puede contemplar una velocidad de desplazamiento de 150 mm/s y velocidades máximas de impresión de 100 mm/s. Estas velocidades tan elevadas es posible utilizarlas si la pieza no tiene cortes en toda la capa. O en el caso de realizarse una impresión continua de manera que el aumento en el eje Z se produzca con el modo espiral.

Pero cuando la pieza que se pretende imprimir es de pequeñas dimensiones y requiere de precisión en la colocación de cada capa. Como en el caso de la pieza utilizada para las pruebas presentadas previamente. Ambos tipos de impresoras necesitan una velocidad similar para ofrecer un acabado adecuado. En este caso está dependiendo de las capacidades del material que se está imprimiendo. Además, es evidente que si la boquilla del cabezal tuviera un diámetro menor al utilizado (0.5 mm) habría sido más sencillo obtener un mejor acabado.

También es posible destacar la característica que tiene este modelo de impresora. Es capaz de mover el cabezal a la misma velocidad y aceleración en todos los ejes cartesianos por lo que la retracción, que consume mucho tiempo si tiene que aumentar la posición Z, se convierte en un movimiento rápido.

7.2 Límites de la impresora

En este apartado se analizan los límites físicos de la impresora 3D modelo Rostock, es decir, los tamaños máximos que pueden ser impresos.

Los límites de impresión teóricos vienen determinados por un lado por el tamaño de la base de impresión y por otro lado por la altura máxima que puede alcanzar el cabezal respecto a la base de impresión.

Teóricamente, teniendo como base de impresión un espejo cuadrado de 200 x 200 mm, ésta sería su área de impresión en el plano XY. Sin embargo, al ser una impresora con una estructura de tres brazos colocados entre sí a 120° su área ideal de impresión es circular. Por este motivo este tipo de impresora, en la práctica, no puede abarcar toda la superficie del espejo siendo imposible que alcance algunos de los vértices. La impresora 3D de este proyecto tiene limitada la superficie de impresión, por firmware, a 180 x 180 mm.

En el caso de la altura, el punto máximo que puede alcanzar el cabezal de la impresora viene determinado por la altura donde se activan los interruptores de final de carrera situados en la parte superior de la misma. Esta altura es como máximo 402 mm y depende de la altura a la que se haya calibrado la base. En el caso de la impresora de este proyecto esta altura máxima es de 399.2 mm.

De esta forma se genera un volumen de impresión de 180 x 180 x 399.2 mm.

7.2.1 Prueba límites XY

Para poder realizar una prueba de los límites de impresión de anchura y profundidad (ejes X e Y) se ha buscado una figura que prácticamente rellene el área de la base. La elección final es un escudo de la serie de ficción Transformers descargado de Internet [81]. En la Figura 178 se muestra la ampliación realizada con el software Cura al diseño 3D para, prácticamente, alcanzar los límites de impresión.



Figura 178. Escalado de diseño 3D con software Cura.

Con esta impresión se ponen a prueba los límites de los ejes X e Y de esta impresora. El resultado final es satisfactorio y se demuestra en la Figura 179 que esta impresora puede imprimir al menos una pieza que tenga unas dimensiones en el plano XY de 179 x 174.5. Es de suponer que pueda abarcar los 180 x 180 mm establecidos como límites en el firmware.



Figura 179. Símbolo autobot (179 x 174.5 x 6 mm) impreso.

7.2.2 Prueba límite Z

Para probar los límites de impresión en el eje Z se ha buscado una pieza que no tuviera grandes dimensiones en los ejes X e Y. Finalmente se ha escogido imprimir un rascacielos, el Empire State Building. El archivo escogido es el que se ha considerado que está diseñado con mayor detalle [82]. En la Figura 180 se muestra la ampliación realizada con el software Cura al diseño 3D para, prácticamente, alcanzar la altura límite de impresión.



Figura 180. Diseño 3D Empire State escalado con software Cura.

Con esta impresión se prueba la altura máxima que puede imprimir esta impresora es de, al menos, 396.8 mm. La pieza alcanza esta altura con el pararrayos de la torre (Figura 180).

El diseño se ha escalado intentando aproximar lo máximo posible la altura de la pieza a la altura máxima que puede alcanzar el cabezal, 399.2 mm. Si el diseño hubiera llegado hasta el punto más alto es probable que las últimas alturas no pudieran imprimirse correctamente debido a la escasa movilidad del cabezal. En las alturas más altas los *Carros* pueden alcanzar el interruptor final de carrera en algún movimiento.

7.2.3 Conclusión

Los límites de la impresora 3D modelo Rostock se encuentran muy cercanos a los esperados. En un principio, idealmente, se supone que la impresora vaya a alcanzar los límites de 200 x 200 x 400 mm de impresión. Pero en la realidad aparecen algunos factores que hacen disminuir estos límites a 180 x 180 x 399.2 mm.

Es posible que este modelo de impresora sea capaz de cubrir con sus movimientos una superficie circular de 200 mm de diámetro, cuyo centro se encuentre centrado entre las tres torres. Además ajustando la base de impresión 0.8 mm por debajo del nivel que se encuentra se podrían obtener los 400 mm de altura máxima.

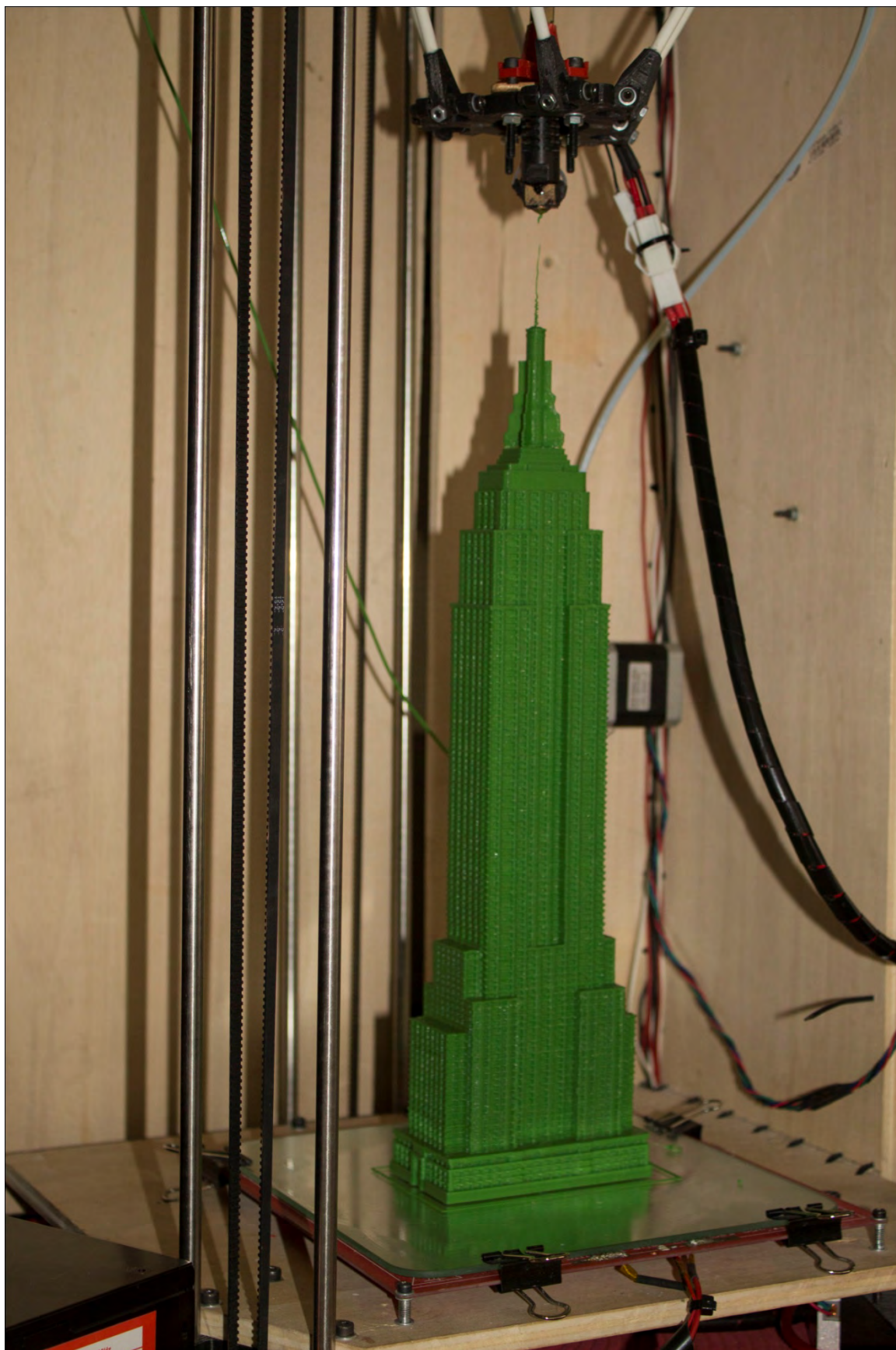


Figura 181. Empire State Building (95.1 x 52.8 x 396.8 mm) impreso.

7.3 Comparativa con otras impresoras del parque

Las impresoras que componen el parque de la Asociación de Robótica de la Universidad Carlos III de Madrid está compuesto por tres impresoras.

La primera que se adquirió fue la impresora Thing-O-Matic del fabricante MakerBot, se denominó como Madre y actualmente ya no pertenece a la Universidad. A continuación se compró otra impresora del mismo modelo que se denominó como Padre (o UC3PO) y que se encuentra activa en uno de los laboratorios de la Universidad. La tercera impresora que pasó a formar parte del parque fue el modelo Prusa Air 2.

Las características técnicas generales de estas tres impresoras son las que se comparan en la Tabla 36.




Impresora 3D del parque de la Universidad Carlos III de Madrid			
	Rostock 3D	Prusa Air 2	Thing-O-Matic
Electrónica	Arduino Mega 2560 + RAMPS 1.4	Sanguinololu v1.3a	Arduino Mega 2560 + Gen4
Dimensiones de impresión (mm)	180 x 180 x 399.2	190 x 180 x 100	100 x 100 x 100
Diámetro boquilla	0.5 mm	0.5 mm	0.4 mm
Velocidad de impresión	15 - 150 mm/s	15 - 70 mm/s	15 - 40 mm/s
Velocidad de desplazamiento XY	200 mm/s	120 mm/s	100 mm/s
Velocidad de desplazamiento Z	200 mm/s	30 mm/s	16.7 mm/s
Diámetro filamento	1.75 mm	3 mm	1.75 mm
Material	ABS - PLA	ABS - PLA	ABS - PLA
Precio	520 €	520 €	920 €

Tabla 36. Comparativa impresoras 3D parque de la Universidad.

Capítulo 8

Conclusiones

En este capítulo se realiza la valoración de cuáles han sido los objetivos completados con la elaboración de este proyecto. Tras finalizar la construcción y puesta en marcha de la impresora 3D de cinemática paralela modelo Rostock, se puede determinar que se han cumplido tanto el objetivo principal como los secundarios que se establecieron en el capítulo dedicado a los objetivos al inicio de este documento.

El objetivo principal del proyecto es construir una impresora 3D de cinemática paralela modelo Rostock. La construcción y puesta en marcha ha sido exitosa. Se han logrado imprimir piezas con una calidad satisfactoria cumpliendo, además, las capacidades dimensionales de fabricación esperadas.

La consecución de este objetivo requería además el aporte de documentación para mejorar la que ya existía. La documentación que se ha desarrollado con este primer objetivo comprende la creación de los planos de las piezas imprimibles y las fabricables en madera. Se ha realizado una guía para el montaje, la calibración y puesta a punto de la impresora 3D añadiendo, además, las características de los componentes electrónicos utilizados.

El primero de los objetivos secundarios es convertir el modelo Rostock en una impresora 3D operativa. Este proyecto consigue facilitar el manejo y montaje gracias a la completa documentación reunida y, de esta manera, afianza el uso de la cinemática paralela. Debía ser económica y se encuentra en la media de las impresoras consideradas de bajo coste.

Finalmente, resulta imprescindible en la actualidad compartir el trabajo realizado con la comunidad Open Source para poder convertirla en una opción accesible. Para cumplir este requisito se ha desarrollado una página web [83] que contiene toda la información de este proyecto en castellano. Se creó en julio de 2013 y hasta finales de septiembre de 2014 ha sido consultada más de 4000 veces, en su mayoría por la comunidad hispano hablante.

El segundo objetivo secundario de este proyecto es realizar un estado del arte de este tipo de impresoras. Para cumplirlo se han enumerado seis proyectos diferentes que construyen variaciones de este modelo de impresora 3D. Con ellos se presentan alternativas a los componentes del prototipo original. También se exponen los modelos en los que se ha basado este tipo de cinemática paralela.

La presentación de los resultados obtenidos es el tercer objetivo secundario del proyecto. Se presentan pruebas realizadas para calibrar la impresión y otras destinadas a comprobar las limitaciones del volumen de impresión. De igual forma se realiza una comparativa respecto al resto de impresoras 3D que forman el parque de la Asociación de Robótica y del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Universidad Carlos III de Madrid.

El cuarto y último de los objetivos secundarios propuestos requería proponer futuras mejoras al trabajo que se ha realizado con este proyecto. Se han realizado

basándolas en el conocimiento adquirido con la construcción y puesta en marcha de esta impresora 3D y con el estudio de la multitud de diferentes soluciones que han encontrado otras personas que se han aventurado a construir este tipo de máquina de cinemática paralela.

Con el propósito de realizar un análisis objetivo de las ventajas e inconvenientes que se han observado durante el desarrollo de este proyecto. Se presenta la siguiente enumeración de ventajas e inconvenientes de este tipo de impresora 3D:

- **Ventajas:**

- Base fija. Permite un peso elevado pudiendo aumentar el espesor del cristal o el peso del elemento calefactor.
- Cabezal ligero. Permite altas velocidades y aceleraciones durante la impresión y movimientos en vacío.
- Velocidad eje Z. Permite que los movimientos en el eje Z sean tan rápidos como los de los ejes X e Y.
- Verticalidad en la impresión. No presenta los problemas de oscilación que generan las posibles desviaciones de las barras roscadas que desplazan el eje Z en las impresoras 3D de cinemática serial.
- Uso de 3 motores en lugar de los 4 que son necesarios, por ejemplo, para el movimiento de la impresora 3D Prusa.
- Ofrece un volumen de impresión verificado de 180 x 180 x 399.2 mm.
- Menor área ocupada. Las dimensiones exteriores de este modelo de impresora son aproximadamente 350 x 400 x 780 mm. Su altura es mayor que la de una impresora de cinemática serial como puede ser la Prusa iteración 2 cuyas dimensiones externas son aproximadamente 400 x 470 x 370 mm.
- Fácilmente dimensionable. Es posible aumentar o disminuir su tamaño.

- **Inconvenientes:**

- Necesita un espacio superior adicional a la altura de impresión. Este espacio está principalmente destinado para la altura de las varillas diagonales. En el caso de esta impresora la altura total es de 772 mm y puede imprimir una altura de 400 mm.
- Dificultad para lograr la igual longitud de todas las varillas diagonales.
- Flexibilidad de la base de impresión. La flexibilidad que ofrece la base calorífica PCB montada provoca que la altura de la base varíe y no presente una planicidad aceptable para la perfecta deposición de la primera capa de material fundido.

Capítulo 9

Futuras mejoras

En este capítulo se van a señalar las mejoras que se pueden aplicar en un futuro a este modelo de impresora 3D Rostock, teniendo en cuenta las ya aplicadas en la versión más actual del diseño original.

- **Utilización exclusiva de software libre.**

Instalar todo el software en un sistema operativo basado en GNU/Linux. Diseñar las piezas imprimibles utilizando OpenSCAD o FreeCAD y encontrar un software que permita hacer planos. Para facilitar la tarea de compartir los diseños sería ideal el uso de un programa de CAD que permita exportarlos en un formato que entiendan la mayoría de los programas CAD.

- **Reducción del número de componentes no imprimibles.**

Investigar sobre la posibilidad de reducir el número de componentes no imprimibles sustituyéndolos por componentes impresos. Entre las mejoras propuestas en este capítulo se mencionan algunas opciones.

- **Sustituir juntas universales por imanes.**

El uso de imanes aumentaría la precisión en la impresión logrando una mayor capacidad de definición de las piezas impresas. De esta forma existiría la posibilidad de imprimir varillas más cortas o realizar la impresión de un cilindro con una altura de aproximadamente 250 mm. En los extremos de estos cilindros podrían introducirse imanes e instalarse esferas en la plataforma o invertir instalar esferas unidas a una barra roscada en las varillas impresas e imanes toroidales en la plataforma.

- **Base circular.**

La superficie circular permitiría aprovechar al máximo las posibilidades de impresión que ofrece la cinemática paralela ampliando el diámetro de impresión. Además sería recomendable mejorar la planicidad de la base de impresión y para ello el uso de una superficie rectificadora como puede ser un cristal grueso o una superficie metálica de aluminio.

Realizar impresiones exclusivamente con material PLA permitiría la eliminación de la superficie calorífica disminuyendo el precio de la impresora y el consumo de energía.

- **Finales de carrera opto end stop.**

Existe una alternativa más precisa a los interruptores final de carrera, los *OptoEndstop*. En internet [84] se puede encontrar todo lo necesario para fabricarlo o adquirirlo, así como las actualizaciones y mejoras disponibles. Con esta mejora se aumentaría la precisión del eje Z ya que

los interruptores que sustituyen presentan un margen de contacto de ± 1 mm. La funcionalidad es la misma que la de los pulsadores que se han instalado en esta impresora pero sin contacto, utiliza el efecto Hall como principio físico de funcionamiento.

- **Madera por plástico.**

En el apartado Impresoras basadas en MCP se pueden ver ejemplos de esta mejora que puede ser realizada.

- **Estructura con vigas de aluminio.**

Esta mejora ya se ha aplicado en algunas impresoras que se muestran en el apartado Impresoras basadas en MCP. La funcionalidad es dotar de una mayor estabilidad a la estructura y asegurar la perpendicularidad entre el movimiento de los carros y la base de impresión.

- ***Final Bowden* adaptado para racor.**

Esta mejora permite una instalación sencilla y rápida del tubo bowden de material PTFE. Este material es bastante resbaladizo y resulta complicada su fijación en la pieza *Final Bowden* que ejerce la presión con el uso de bridas.

- ***Final Bowden* con cuatro apoyos.**

Rediseñar la pieza Final Bowden para que se fije a la pieza Plataforma en cuatro puntos en lugar de dos para asegurar horizontalidad y en consecuencia la perfecta verticalidad del extrusor J-Head.

- ***Cuerpo extrusor* adaptado para racor.**

Realizar una actualización del diseño para poder fijar el tubo bowden mediante el uso de racores. El objetivo es realizar una instalación rápida y sencilla del tubo que conduce el filamento hasta el final caliente. Podría además permitir la instalación de un segundo racor donde se inserte otra pieza de tubo PTFE que guíe el plástico desde la bobina hasta el conjunto extrusor.

- **Aumento de la altura de la base.**

Con el objetivo de facilitar la fijación de fuente de alimentación y electrónica en la parte inferior de la impresora.

- **Medidas de disminución de ruido.**

Una de las mejoras necesarias es la sustitución de los rodamientos 608ZZ instalados en las piezas *Final* rodamiento en la parte superior de

la impresora por rodamientos F608ZZ, rodamientos con pestaña lateral. Con el objetivo de que la correa no roce sobre la pieza *Final rodamiento* como lo hace, debido a la inclinación de 2° que tiene el eje de rodadura para obligar a la correa a mantenerse sobre el rodamiento durante el proceso de impresión.

- **Soporte para bobina de filamento.**

Sin este soporte es necesario prestar atención periódica al proceso de impresión. El uso de un soporte dotado de rodamientos que permita que la bobina gire por la fuerza que ejerce el motor extrusor sería una mejora necesaria para dotar de autonomía a la impresora. Se pueden encontrar multitud de diseños en internet

- **Extrusor triple.**

Imprimir en varios colores es otra de las características que sería interesante aplicar en la impresión 3D, ya se ha hecho la experiencia y se encuentra documentada en el blog de RichRap [85].

- **Disminuir el precio de la impresora.**

Aunque el precio está dentro de lo razonable dentro de las impresoras 3D del proyecto RepRap, es posible encontrar alternativas más económicas para las vitaminas necesarias en proveedores de China localizables a través de internet.

Bibliografía

- [1] Johann C. Rocholl. (2014, July) LinkedIn. [Online].
<https://www.linkedin.com/in/jcrocholl>
- [2] Arduino. (2014, June) Arduino. [Online].
<http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>
- [3] RepRap. (2014, June) Wiki RepRap. [Online].
http://reprap.org/wiki/RAMPS_1.4/es
- [4] Yon San Martín, Marta Giménez, and Vincent Nabat. (2008, May) eMagazine Metalmecánica. [Online].
<http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/26569-Maquinas-de-cinematica-paralela-implementacion-industrial-y-futuras-tendencias.html>
- [5] Andrés Vivas. Universidad del Cauca. [Online].
http://www.unicauca.edu.co/ai/publicaciones/ISAShow_Vivas.pdf
- [6] Reymond Clavel. (1991) Ecole Polytechnique Federale de Lausanne. [Online].
http://biblion.epfl.ch/EPFL/theses/1991/925/EPFL_TH925.pdf
- [7] Adept. (2007, Nov.) www.adept.com. [Online]. www.adept.com
- [8] Helium Frog. (2010, Oct.) RepRap. [Online].
http://reprap.org/wiki/Helium_Frog_Delta_Robot
- [9] Festo. (2009) iFab Festo. [Online].
http://www.festo.com/cms/en_corp/9782_10395.htm#id_10395
- [10] RepRap. (2005, Apr.) reprap.org. [Online]. reprap.org
- [11] Arturo Vera García. (2012, July) TFG Protocolo de calibración y

- optimización mecánica de una impresora 3D open source. [Online].
<http://iearobotics.com/alberto/lib/exe/fetch.php?media=theses:arturovera.pdf>
- [12] GNU General Public License. wikipedia. [Online].
http://es.wikipedia.org/wiki/GNU_General_Public_License
- [13] RepRap. (2005, Mar.) Blog RepRap. [Online].
http://blog.reprap.org/2005_03_01_archive.html
- [14] Proyecto Clone Wars. (2011) Proyecto Clone Wars. [Online].
http://www.reprap.org/wiki/Proyecto_Clone_Wars
- [15] RichRap. Blog RichRap. [Online].
<http://richrap.blogspot.com.es/2013/04/rostock-delta-3d-printer-build.html>
- [16] Seemecnc. (2014, July) Seemecnc.com. [Online]. <http://seemecnc.com/>
- [17] SeeMeCNC. RepRap. [Online].
<http://www.reprap.org/wiki/Rostockmax>
- [18] SeemeCNC. (2012, Nov.) Indiegogo. [Online].
<https://www.indiegogo.com/projects/rostock-max-3d-printer>
- [19] Rostock Mini. RepRap. [Online].
http://www.reprap.org/wiki/Rostock_mini
- [20] Rostock Mini precio. (2014, Apr.) 3dprinter czar.com. [Online].
<http://3dprinter czar.com/shop/3dprinters/rostock-mini-pro/>
- [21] JorgeRdgz. Rostock Prisma Thingiverse. [Online].
<http://www.thingiverse.com/thing:34146>
- [22] Steve Graber. Cerberus RepRap. [Online].
<http://www.reprap.org/wiki/Cerberus>
- [23] Steve Graber. Album Cerberus. [Online].
<https://plus.google.com/photos/+SteveGraber/albums/5773609700932594497>
- [24] Johann C. Rocholl and Terence Tam. Kossel RepRap. [Online].
<http://www.reprap.org/wiki/Kossel>
- [25] Terence Tam. (2013, July) Kickstarter. [Online].
<https://www.kickstarter.com/projects/ttstam/openbeam-kossel-pro-a-new-type-of-3d-printer/comments?cursor=3537921>
- [26] Johann C. Rocholl. (2012, July) RepRap.org. [Online].
<http://reprap.org/wiki/Rostock>

- [27] PEEK Datasheet. (2014, May) matweb.com. [Online].
<http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=69abc769d1b64ed58e29690386906196&ckck=1>
- [28] 608ZZ Datasheet. (2014, Aug.) ntn-snr.com. [Online].
<https://www.ntn-snr.com/catalogue/es/es-es/index.cfm?page=/catalogue/home/industry&method=sd.productdetail&id=608ZZ>
- [29] GADGETS3D. (2014, June) Wiki RepRap. [Online].
http://reprap.org/wiki/G3D_driver#Design_Files
- [30] Miguel Angel Moreno Montaner. [Online].
<http://miguelangelmoreno.jimdo.com/inicio/simulaciones-y-preguntas-de-electr%C3%B3nica/es-importante-el-ppm-en-las-resistencias/>
- [31] Josef Průša. (2012, Jan.) Wiki RepRap. [Online].
http://reprap.org/wiki/PCB_Heatbed
- [32] TIAIHUA. (2014, June) switchcn. [Online].
<http://www.switchcn.com/en/product1.asp?pid=1924>
- [33] Motor Wantai. (2014, July) Wantai Motor. [Online].
www.wantmotor.com
- [34] Wantai Motor. NEMA 17 Datasheet Mod. 42BYGHW811. [Online].
<https://solarbotics.com/download.php?file=1970>
- [35] hm sistemas. (2009, Apr.) Calculadora de sección. [Online].
http://www.hmsistemas.es/shop/catalog/calculadora_seccion.php
- [36] Mariano. (2011, Aug.) Blog Tecnología de los Plásticos. [Online].
<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es/2011/06/abs.html>
- [37] Alberto Valero. (2011, Oct.) Wiki Robotics. [Online].
http://www.iearobotics.com/wiki/index.php?title=Impresora_3D:PA_DRE
- [38] Johann C. Rocholl. (2014, Feb.) github.com. [Online].
github.com/jcrocholl/rostock
- [39] piit79. (2012, Oct.) thingiverse.com. [Online].
<http://www.thingiverse.com/thing:33465>
- [40] Airtripper. (2012, May) Airtripper Extruder v2. [Online].
<http://www.thingiverse.com/thing:22426/#files>
- [41] Airtripper. (2012, Dec.) Airtripper Extruder v3. [Online].
<http://www.thingiverse.com/thing:35404>
- [42] RepRap G3D. (2014, Jan.) G3D. [Online].
http://gadgets3d.com/manuals/RepRapG3D_Build_Manual_EN.pdf

- [43] Huawei Electronic Co. (2014, May) switchcn. [Online].
<http://www.switchcn.com/en/product1.asp?pid=1924>
- [44] MicroDrive. MicroDrive. [Online].
<http://www.pfinalfra.com.ar/proyectos/Microstepping/MICRODRIVE.htm>
- [45] Herramientas CAM. (2014, May) rewrap.org/wiki. [Online].
http://rewrap.org/wiki/CAM_Toolchains
- [46] RepRap Wiki. (2014, Feb.) RepRap. [Online].
http://rewrap.org/wiki/Useful_Software_Packages
- [47] OpenSCAD. (2014, May) OpenSCAD. [Online].
<http://www.openscad.org/>
- [48] Juan González Gómez. (2012, May) Wiki-Robotics. [Online].
http://www.learobotics.com/wiki/index.php?title=Dise%C3%B1o_de_piezas_con_OpenScad
- [49] Ultimaker. (2014, Aug.) Wiki Ultimaker. [Online].
<http://wiki.ultimaker.com/Cura>
- [50] Albert Campos Merola. (2014, Jan.) Google Drive. [Online].
<https://docs.google.com/folder/d/0BxiytU6zOcrjaG1vVHRKTXFGNk/edit?usp=sharing&docId=0BxiytU6zOcrjR2c4WmcxODRObFE>
- [51] Raúl Pérula Martínez. (2014, May) educatech. [Online].
http://educatech.sytes.net/wiki/Manual_Skeinforge
- [52] Herramientas CaM. (2014, May) Rewrap.org. [Online].
http://rewrap.org/wiki/RepRap_Options#CAM_Tools
- [53] J.C. Rocholl. (2014, Jan.) Github. [Online].
https://github.com/jcrocholl/Marlin/archive/Marlin_v1.zip
- [54] Arduino. (2014, May) arduino.cc. [Online].
<http://arduino.cc/en/Main/Software>
- [55] RepRap.org. (2014, May) Wiki RepRap. [Online].
http://rewrap.org/wiki/List_of_Firmware
- [56] delsydsoftware. (2012, Aug.) Thingiverse. [Online].
<http://www.thingiverse.com/thing:29310>
- [57] Joaquín Arias. (2007, Sep.) joaquin.arias. [Online].
<http://62cm.blogspot.com.es/2007/08/cunto-consume-un-ordenador-de-sobremesa.html>
- [58] J-Head. (2014, Apr.) rewrapworld.com. [Online].
http://rewrapworld.com/?products_details&products_id=383&cPath=1616_1649

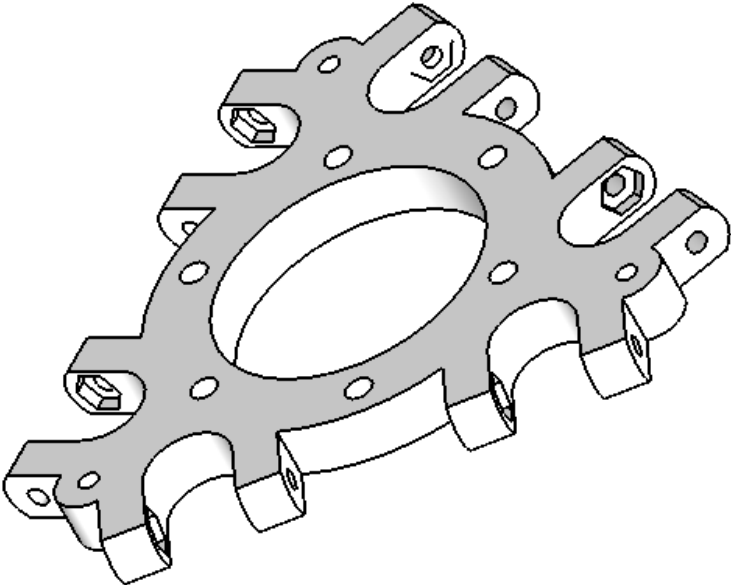
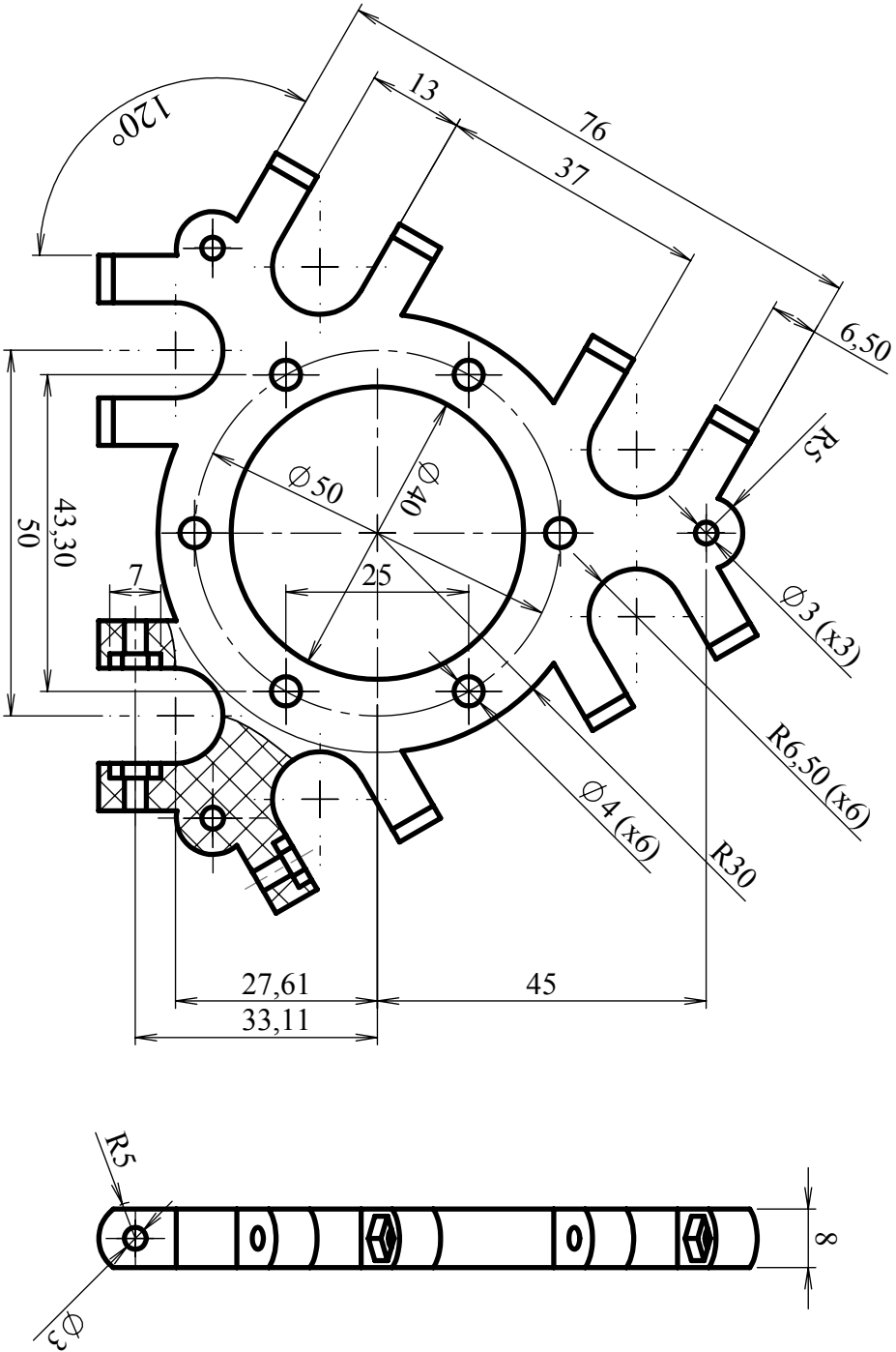
- [59] Barras lisas. (2014, Apr.) reppapworld.com. [Online].
http://reppapworld.com/?products_details&products_id=342&cPath=1655
- [60] Rodamiento lineal LM8UU. (2014, Apr.) reppapworld.com. [Online].
http://reppapworld.com/?products_details&products_id=151&cPath=1655
- [61] Rodamiento 608ZZ. (2014, Apr.) reppapworld.com. [Online].
http://reppapworld.com/?products_details&products_id=24&cPath=1595_1596
- [62] Rodamiento MR105ZZ. (2014, Apr.) ebay.com. [Online].
http://www.ebay.com/itm/10-PCS-MR105ZZ-5x10x4-mm-Metal-Double-Shielded-High-Precision-Ball-Bearing-/301008190190?pt=Radio_Control_Parts_Accessories&hash=item46157c7aee
- [63] Correa dentada T2.5. (2014, Apr.) leapto3d.com. [Online].
<http://leapto3d.com/products/correa-1>
- [64] Polea T2.5. (2014, Apr.) reppapworld.com. [Online].
http://reppapworld.com/?products_details&products_id=325&cPath=1655
- [65] MK8. (2014, Apr.) reppap.me. [Online]. <http://reppap.me/mk8.html>
- [66] Pack RAMPS1.4. (2014, May) reppapworld.com. [Online].
http://reppapworld.com/?products_details&products_id=153&cPath=1645
- [67] Base calorífica. (2014, Apr.) reppapworld.com. [Online].
http://reppapworld.com/?products_details&products_id=391&cPath=1618
- [68] Ventilador 30x30mm. (2014, May) reppapworld.com. [Online].
http://reppapworld.com/?products_details&products_id=170&cPath=1616_1650
- [69] Ventilador 50x50mm. (2014, May) reppapworld.com. [Online].
http://reppapworld.com/?products_details&products_id=98&cPath=1616_1650
- [70] Fuente de alimentación 360W. (2014, May) amazon.com. [Online].
<http://www.amazon.com/Universal-Regulated-Switching-Computer-Project/dp/B004CIW8LA>
- [71] Cinta Kapton. (2014, Apr.) reppapworld.com. [Online].
http://reppapworld.com/?products_details&products_id=201&cPath=1629


- [72] Filamento ABS. (2014, Apr.) reprapworld.com. [Online].
http://reprapworld.com/?products_details&products_id=250&cPath=1590_1622
- [73] Bridas 100x2.5mm. (2014, Apr.) ebay.com. [Online].
http://www.ebay.com/itm/200-x-bridas-negras-100mm-x-brida-de-plastico-de-2-5-mm-envuelve-bases-de-todos-/200968321668?pt=LH_DefaultDomain_186&hash=item2ecaa53a84
- [74] Tubo PTFE. (2014, Aug.) ebay.com. [Online].
http://www.ebay.com/itm/161373566679?_trksid=p2055119.m1438.l2649&ssPageName=STRK%3AMEBIDX%3AIT
- [75] Espejos 20x20cm. (2014, Apr.) ikea. [Online].
<http://www.ikea.com/es/es/catalog/products/60074007/>
- [76] Muelles. (2014, Apr.) reprap.me. [Online].
<http://reprap.me/springs.html>
- [77] Tornillería. (2012, Aug.) Ferretería Anserjo. [Online]. Ferreteria-anserjo.com
- [78] 3ders. (2014) Comparativa de impresoras 2014. [Online].
<http://www.3ders.org/pricecompare/3dprinters/>
- [79] (2012, Mar.) Prusa Air 2, RepRap. [Online].
http://reprap.org/wiki/Air_2
- [80] Johann C. Rocholl. (2014, Aug.) Build a 3D printer. [Online].
<http://www.builda3dprinter.eu/shop/kits/kosselxl/#prettyPhoto>
- [81] dSASQUATCH707. (2013, Apr.) Transformers Autobot. [Online].
<http://www.thingiverse.com/thing:71940>
- [82] Katan. (2014, May) Empire State Building. [Online].
<http://www.thingiverse.com/thing:334711>
- [83] Miguel Ponce Antolín. (2013, July) Construcción de una impresora Rostock 3D. [Online]. <http://pourla.wordpress.com>
- [84] RepRap. (2013, Dec.) Wiki RepRap. [Online].
http://reprap.org/wiki/OptoEndstop_2.1
- [85] RichRap. (2012, Aug.) Color Mixin RichRap. [Online].
<http://richrap.blogspot.com.es/2012/08/3-way-quick-fit-extruder-and-colour.html>
- [86] wikipedia. wikipedia. [Online].
http://es.wikipedia.org/wiki/Crimpadora#cite_note-gomez-1
- [87] Philippe Carrier. (2013, Nov.) Grabcad. [Online].
<https://grabcad.com/library/j-head-nozzle-1>

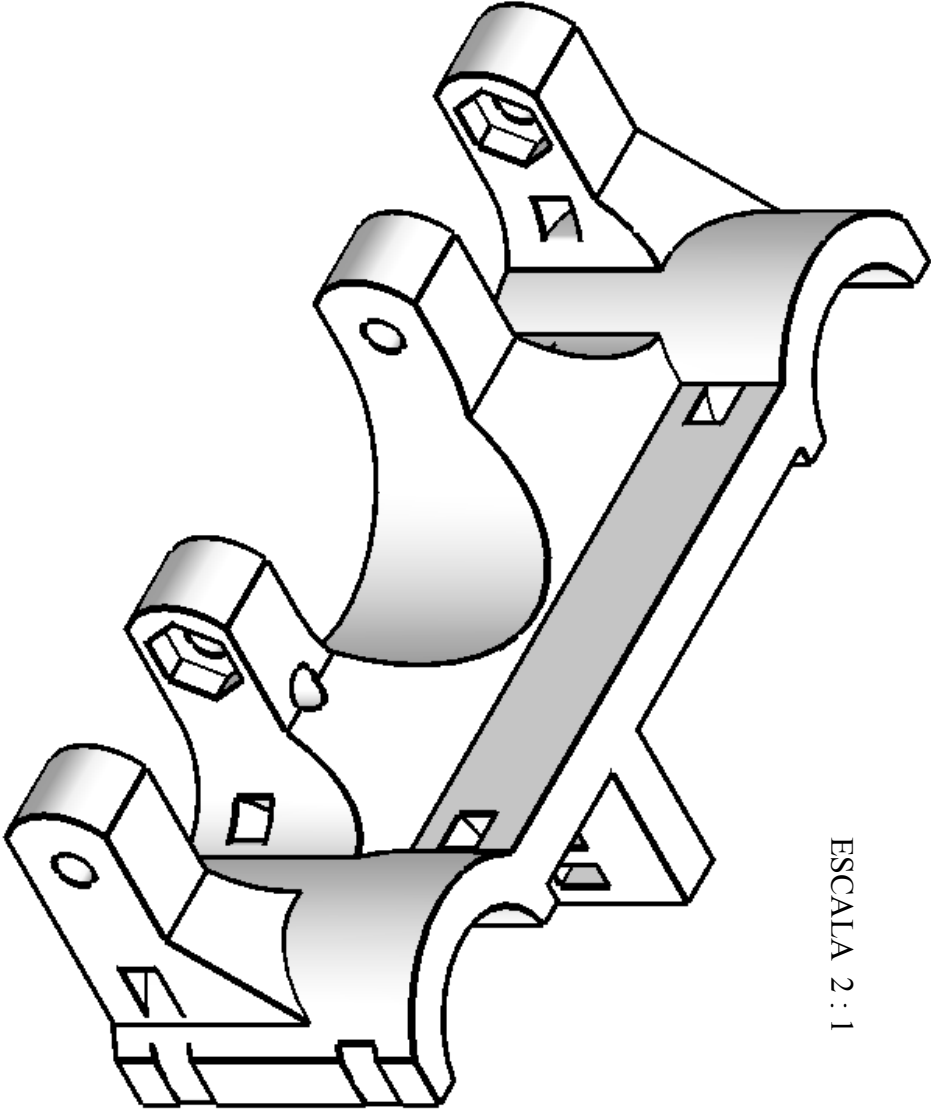
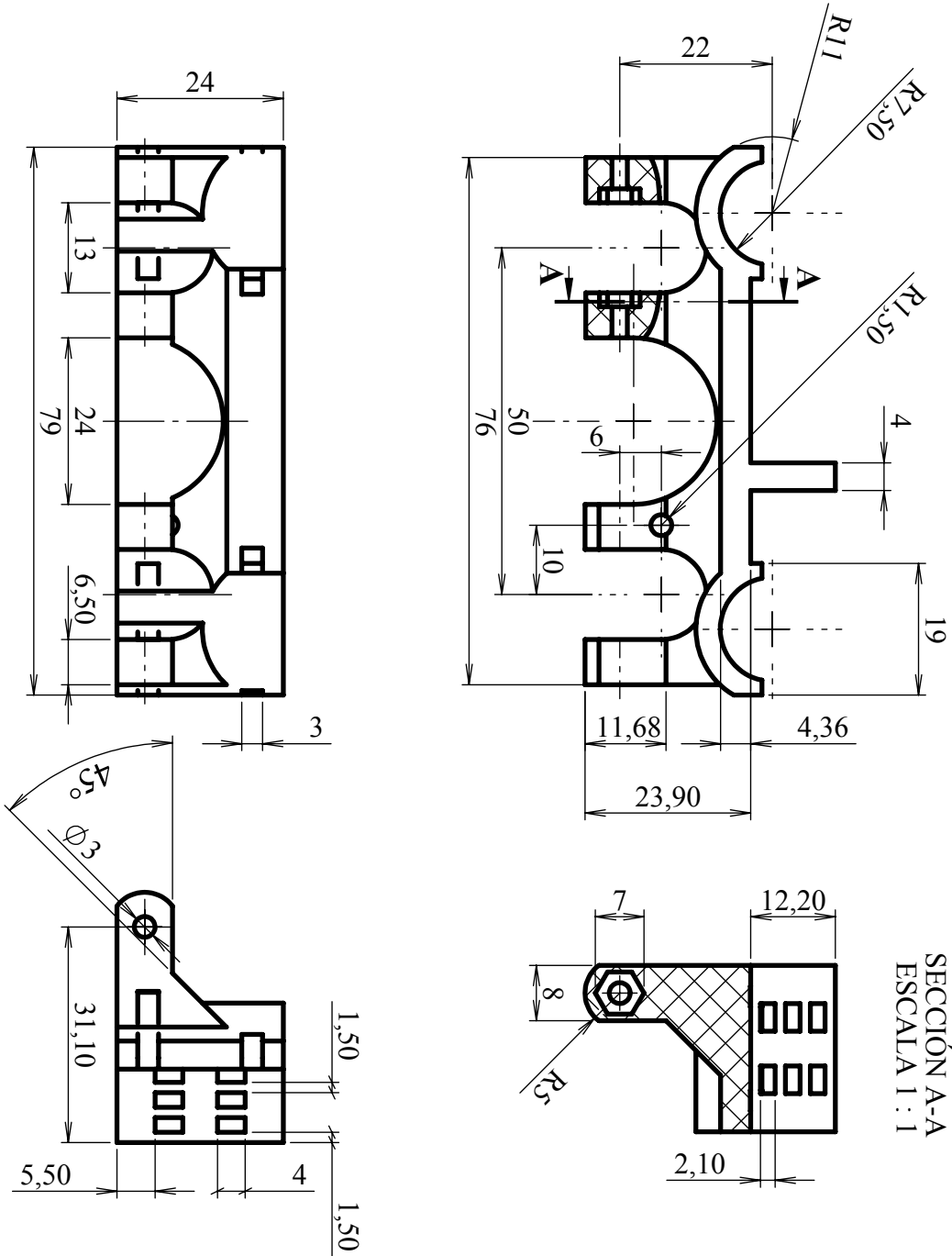
- [88] Wikipedia. (2014, June) Wikipedia. [Online].
http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A1quina_herramienta
- [89] Miguel Ponce Antolín. (2014, June) Diagrama Gantt Rostock 3D.
[Online]. <https://poula.files.wordpress.com/2013/07/rostock-gantt.pdf>


ANEXO A

Planos

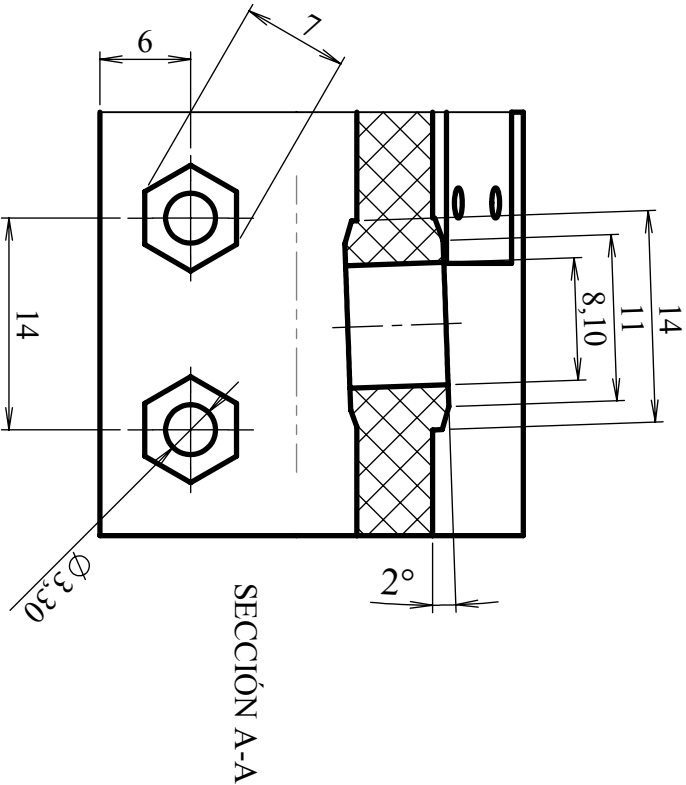
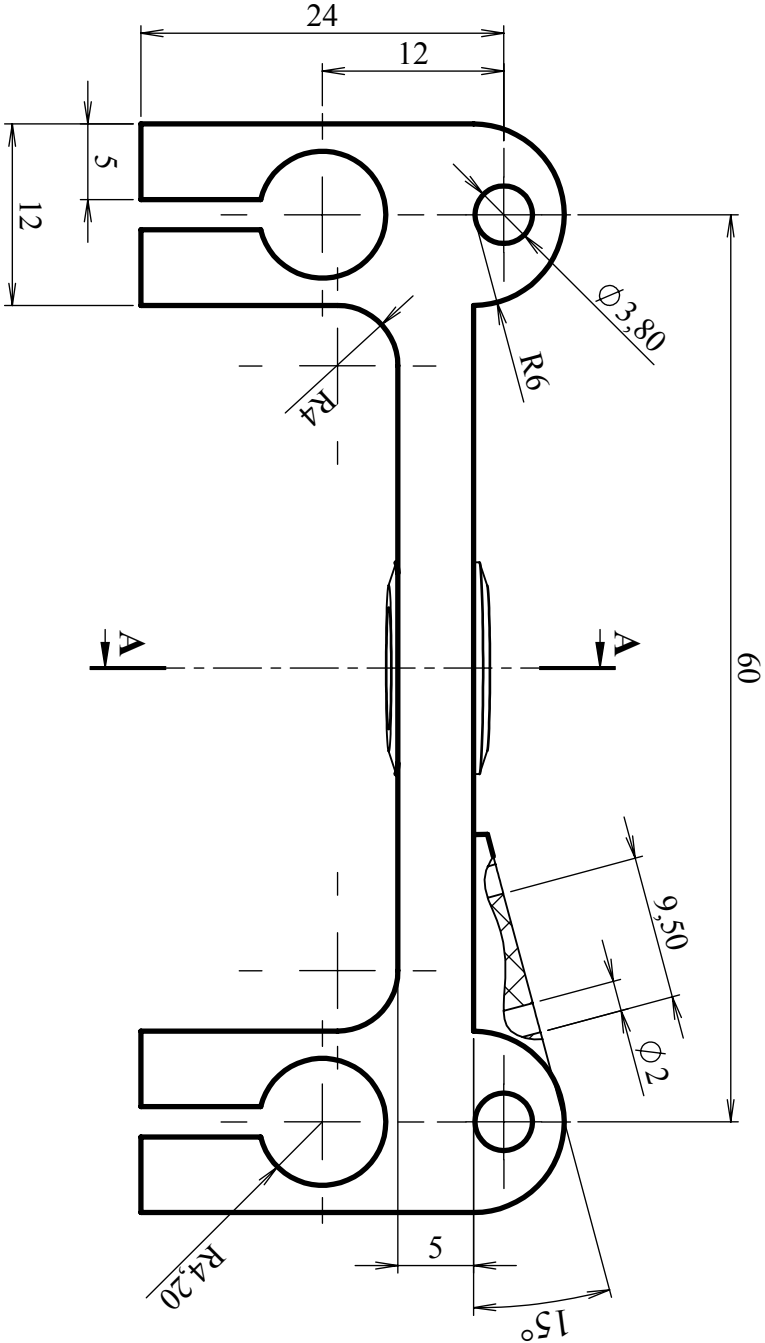
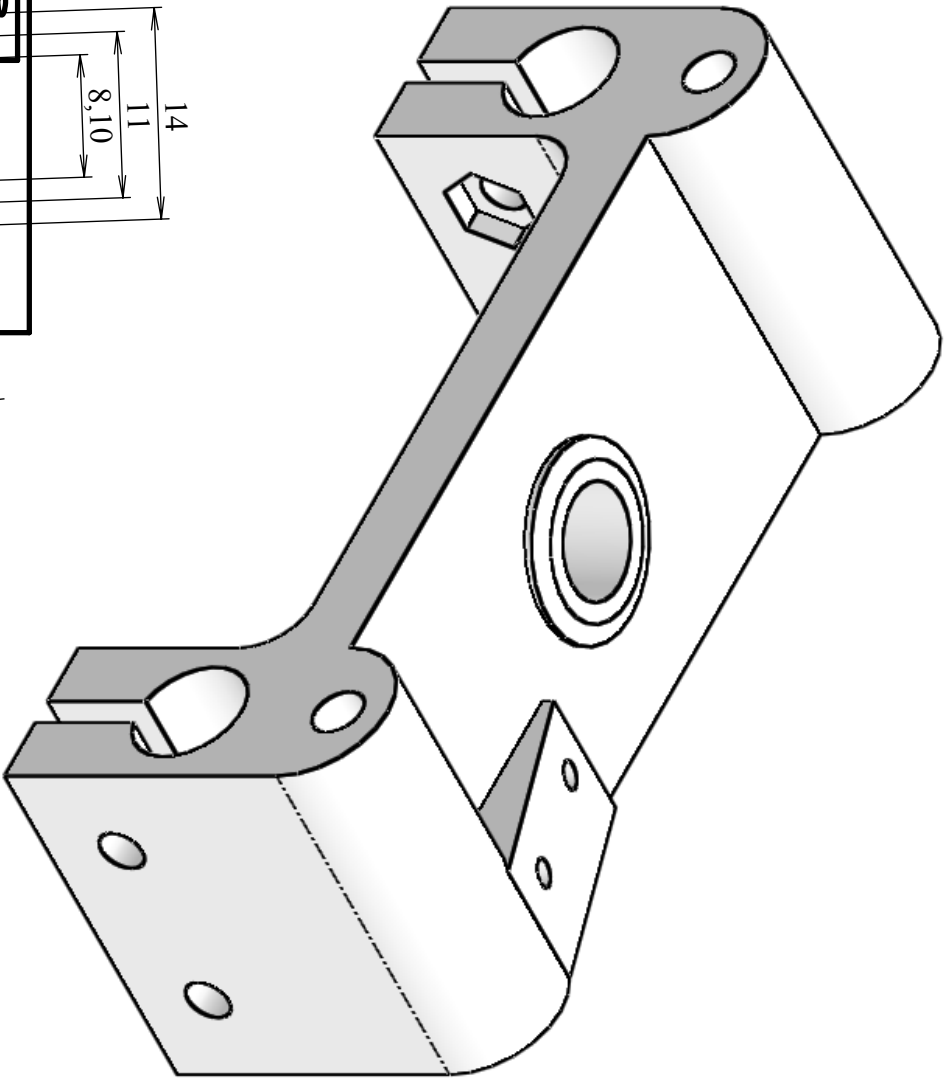
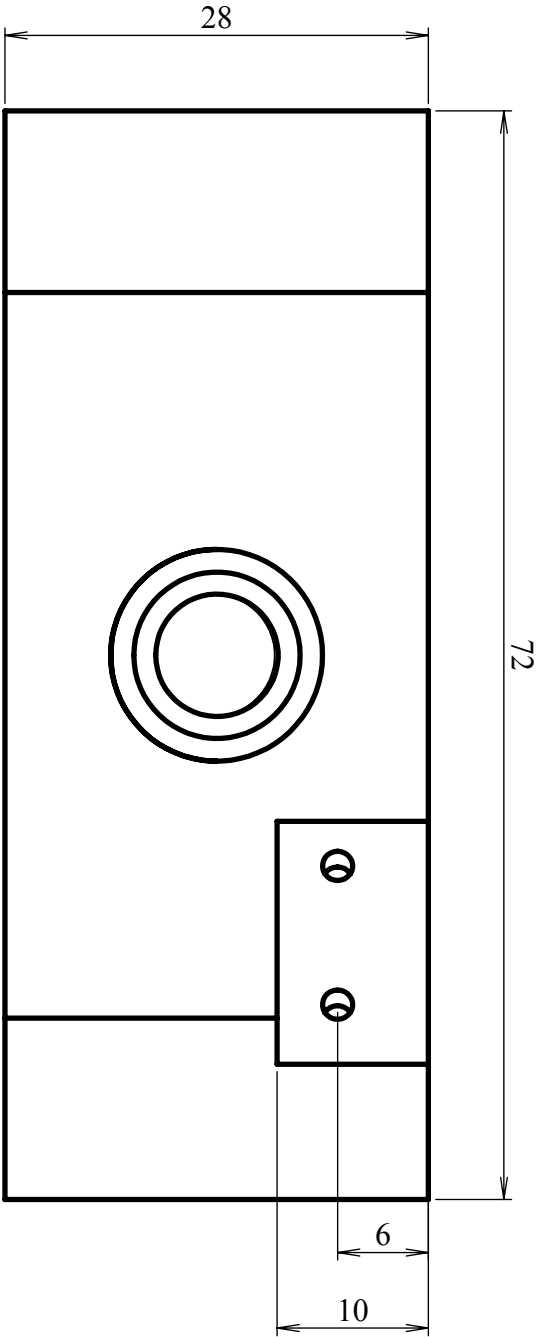



	Marca	Cantidad	Descripción		Norma
			Fecha	Nombre	Firma
	Dibujado	07/05/14	Miguel Ponce Antolín		
	Comprobado	07/07/14	Miguel Ponce Antolín		
El Ingeniero Técnico	Título: IMPRESORA 3D ROSTOCK				
	Designación Plano: PLATAFORMA				
	Firma				
Escala= 1:1	Material: ABS	Masa = 23.6 g	Volumen = 23111 mm3	Hoja 1/1	193

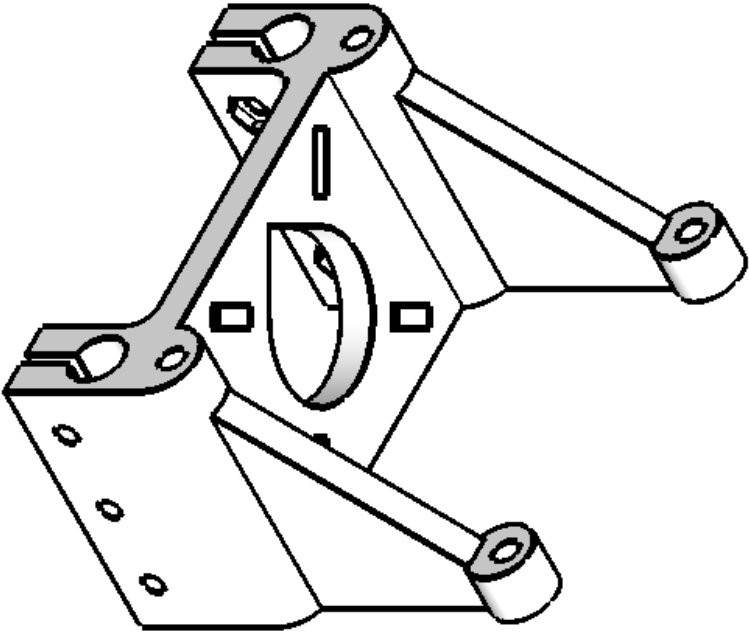
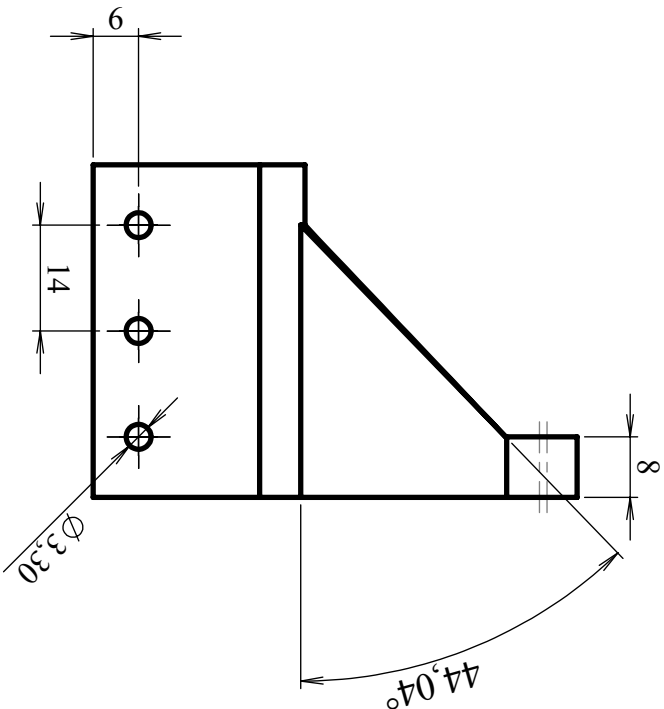
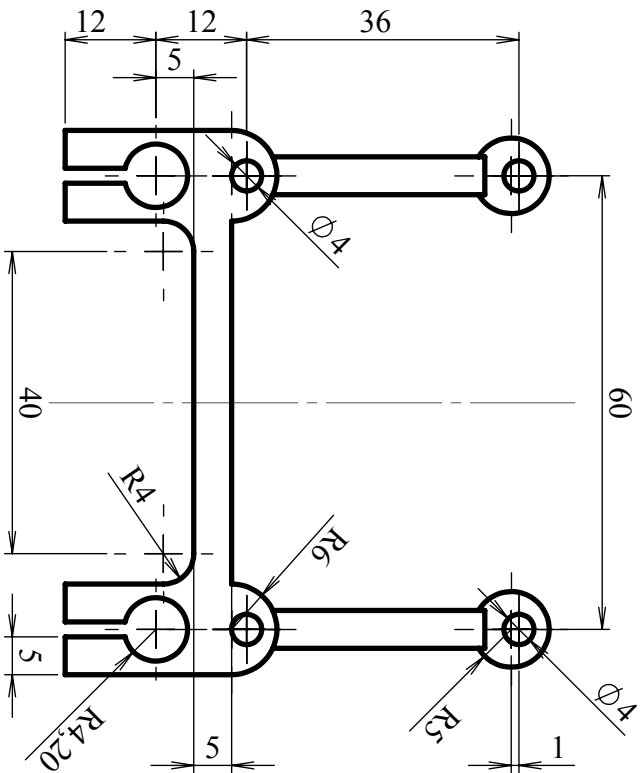
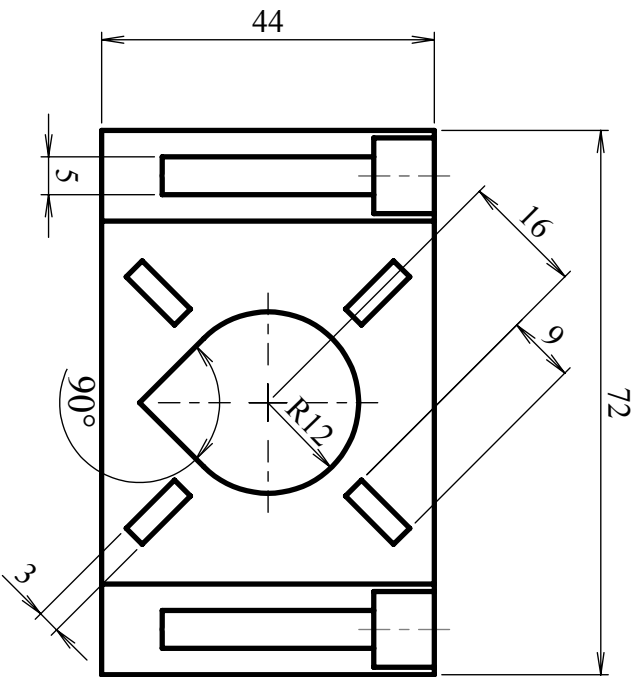



	Marca	Cantidad	Descripción		Norma
			Fecha	Nombre	Firma
	Dibujado	07/05/14	Miguel Ponce Antolín		
	Comprobado	07/07/14	Miguel Ponce Antolín		
El Ingeniero Técnico	Título: IMPRESORA 3D ROSTOCK				
	Designación Plano: CARRO				
Firma					
Escala= 1:1	Material: ABS	Masa = 14,7 g	Volumen = 14433 mm3	Hoja 1/1	195

Escala= 1:1



	Marca	Cantidad	Descripción		Norma
			Fecha	Nombre	Firma
	Dibujado	07/05/14	Miguel Ponce Antolín		
	Comprobado	07/07/14	Miguel Ponce Antolín		
El Ingeniero Técnico	Título:				
	IMPRESORA 3D ROSTOCK				
	Designación Plano:				
	FINAL RODAMIENTO				
Firma					
Escala= 2:1	Material: ABS	Masa = 20.4 g	Volumen = 19957 mm3	Hoja 1/1	197

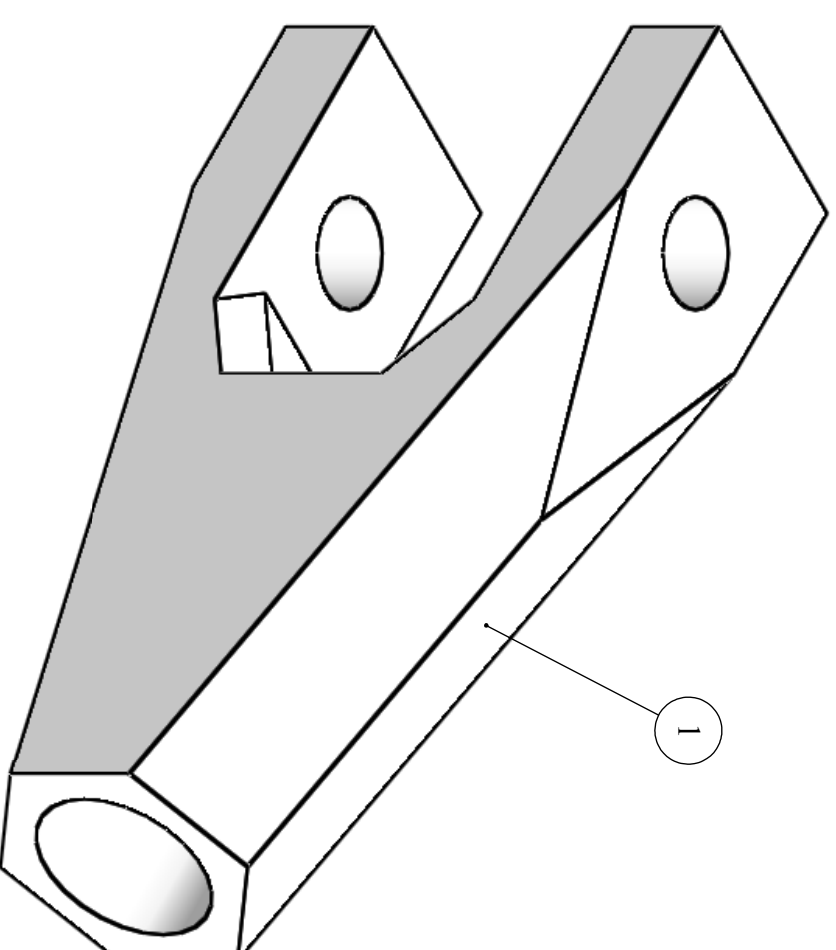
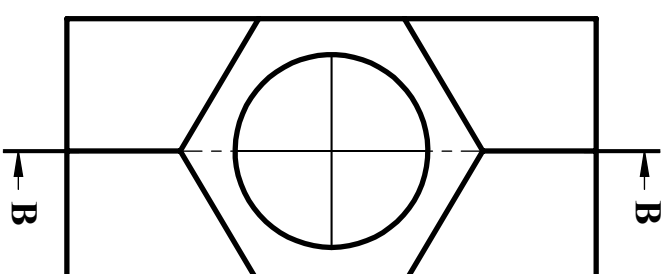
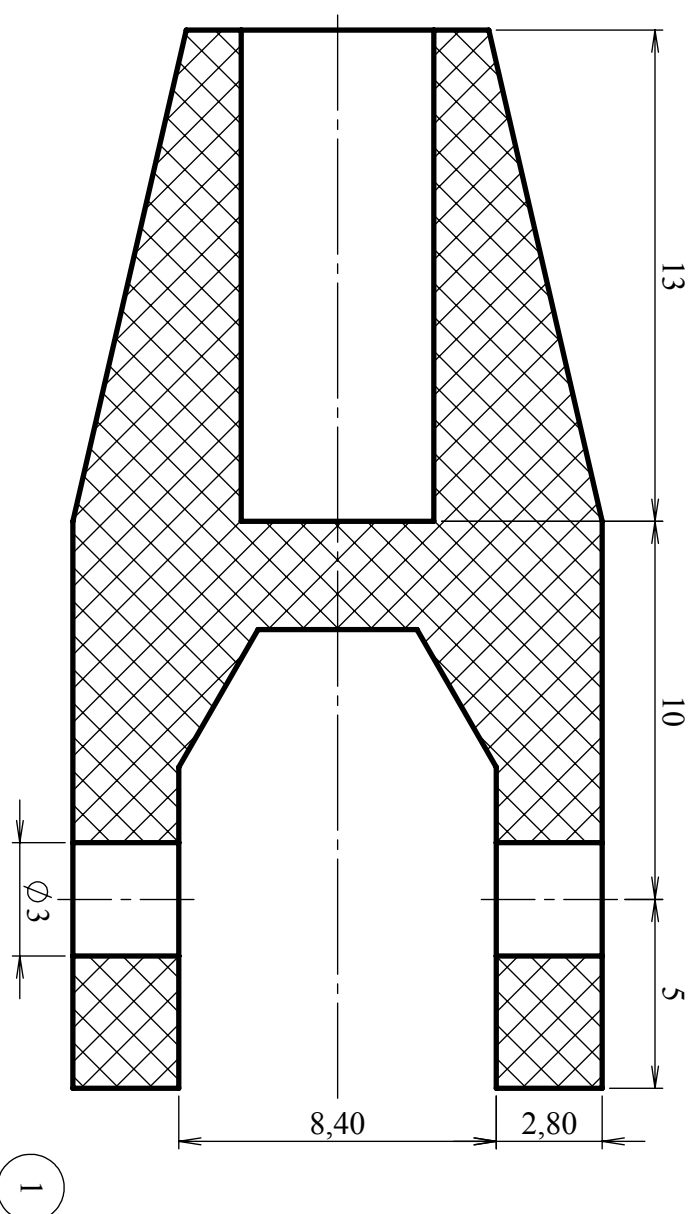


	Marca	Cantidad	Descripción		Norma
			Fecha	Nombre	Firma
	Dibujado		07/05/14	Miguel Ponce Antolín	
	Comprobado		07/07/14	Miguel Ponce Antolín	

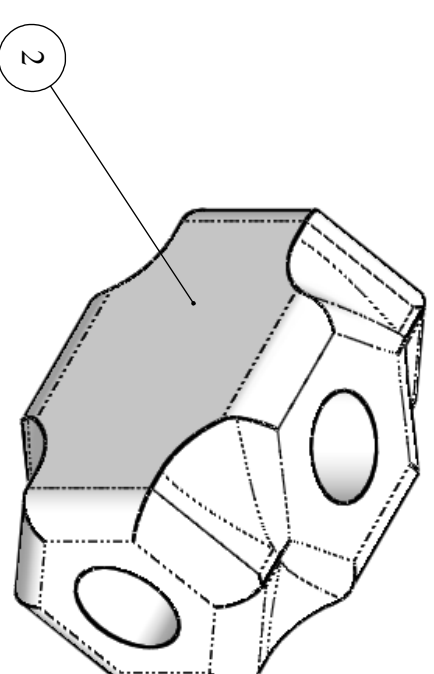
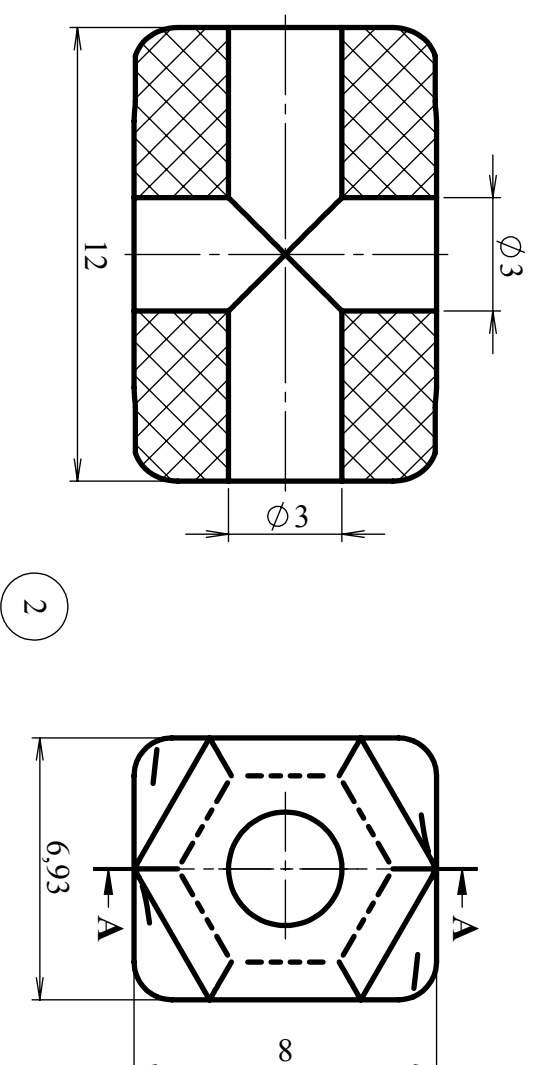
El Ingeniero Técnico
Título:
IMPRESORA 3D ROSTOCK

Designación Plano:					
FINAL MOTOR					
Firma					
Escala= 1:1	Material: ABS	Masa = 35.6 g	Volumen = 34888 mm3	Hoja 1/1	199


SECCIÓN B-B



SECCIÓN A-A



1		Mandíbula (m = 1.28 g; V = 1254.7 mm ³)	
2		Junta (m = 0.45 g; V = 441 mm ³)	
Marca	Cantidad	Descripción	Norma
	Fecha	Nombre	Firma
Dibujado	07/05/14	Miguel Ponce Antolín	
Comprobado	07/07/14	Miguel Ponce Antolín	



UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

El Ingeniero Técnico

Título:

IMPRESORA 3D ROSTOCK

Designación Plano:

MANDÍBULA Y JUNTA

Firma

Escala= 5:1

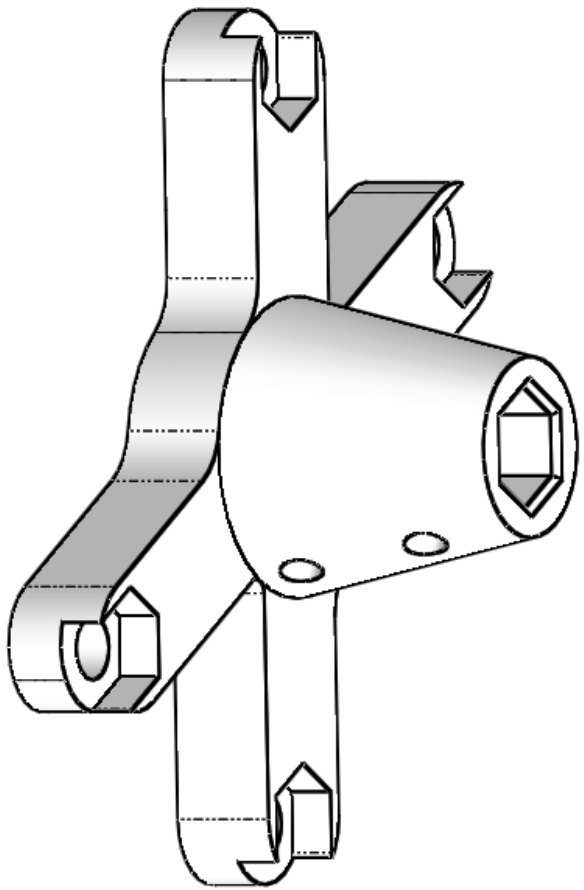
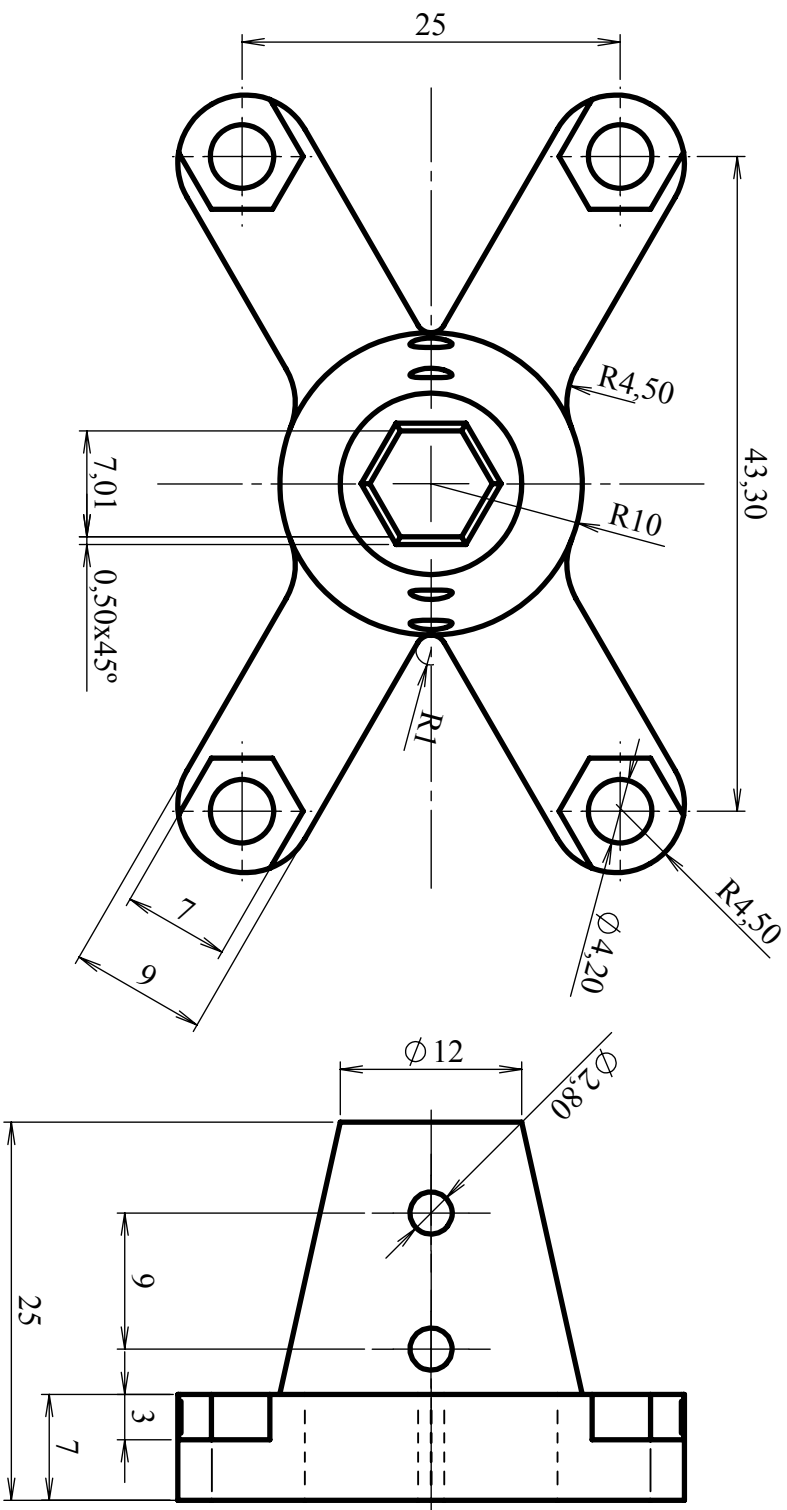
Material: ABS


Masa (Descrip.)

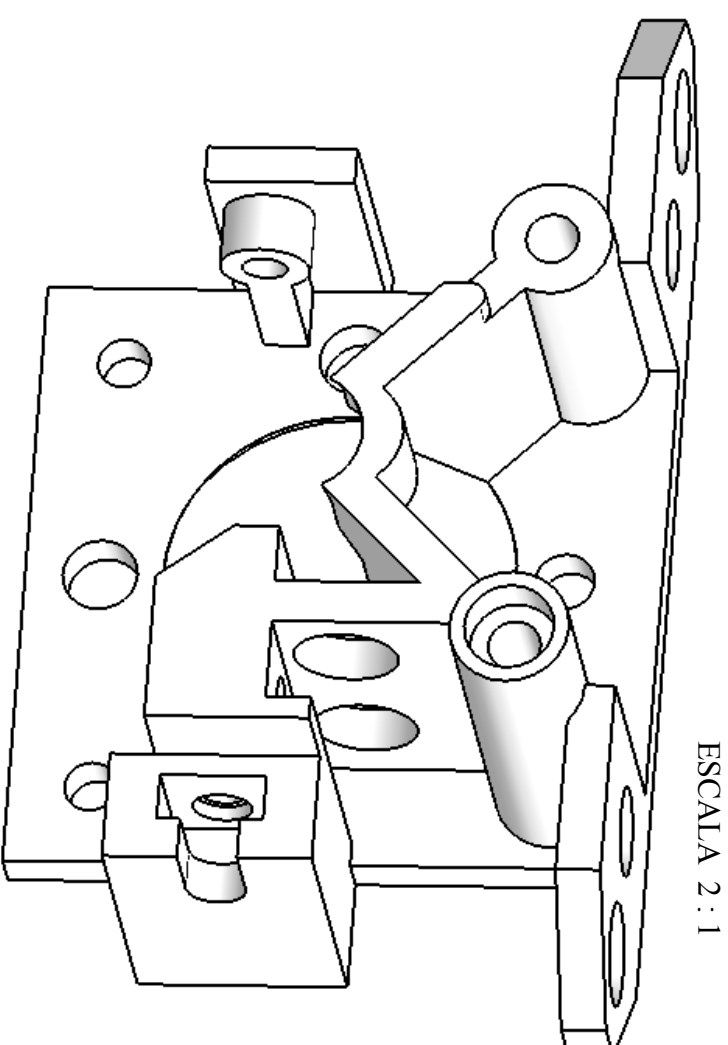
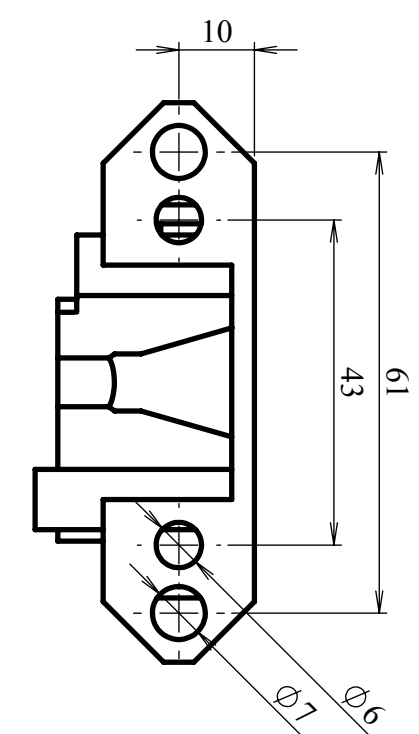
Volumen (Descripción)

Hoja 1/1

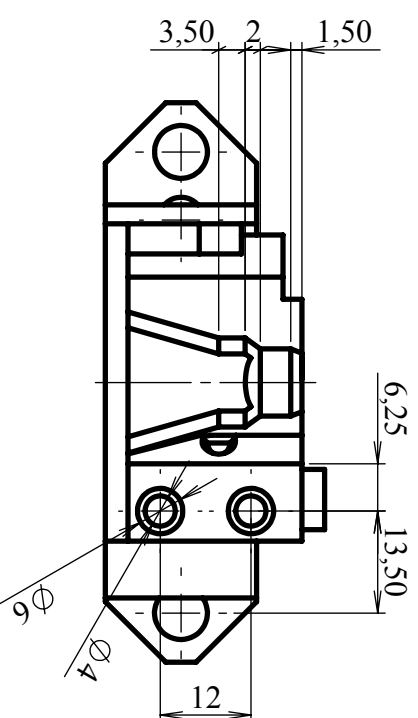
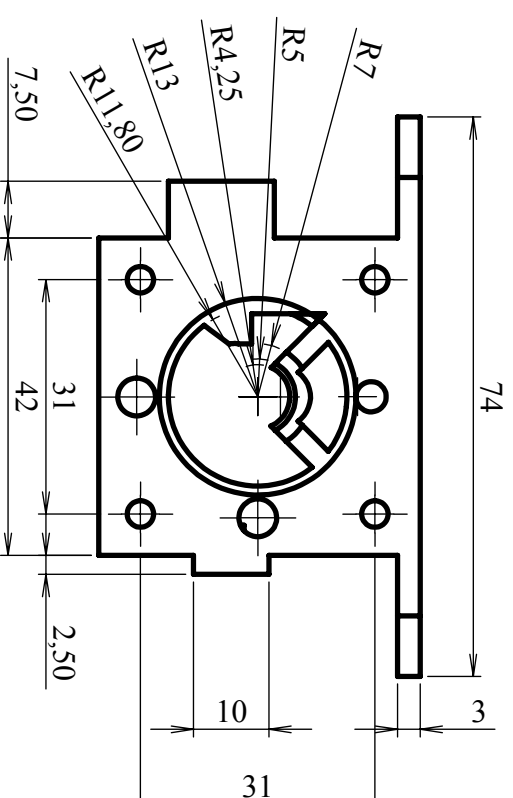
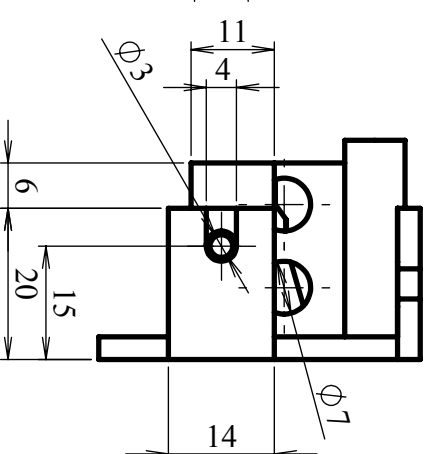
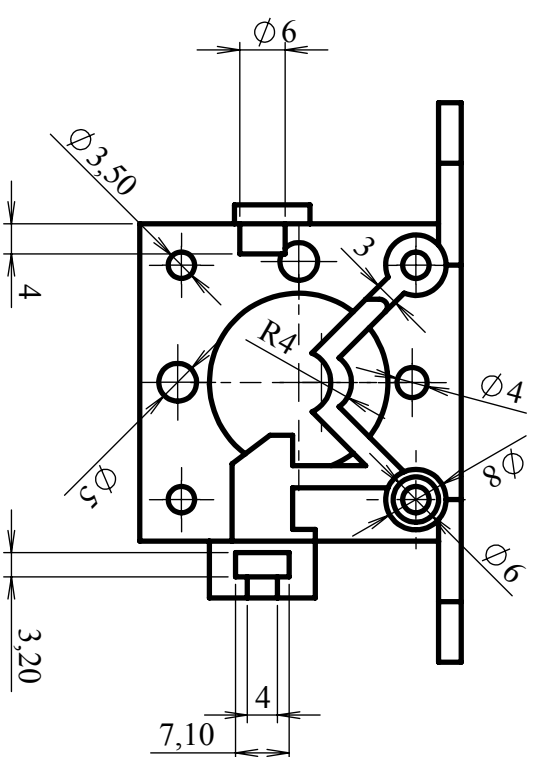
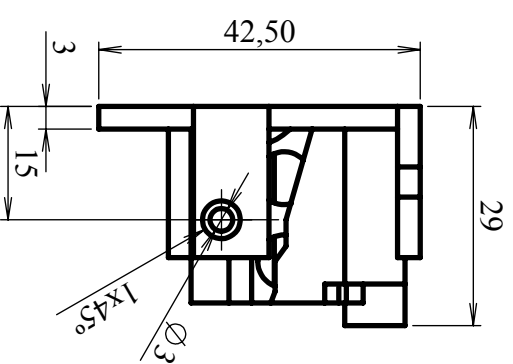
203




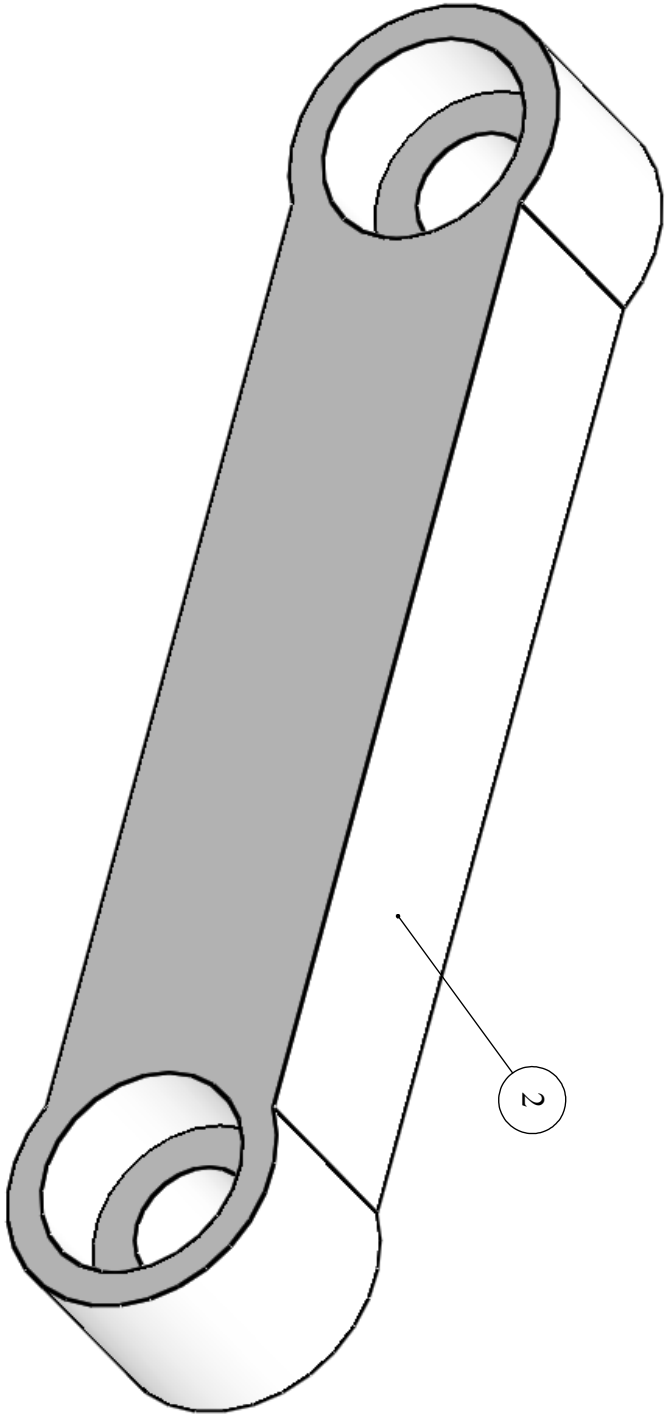
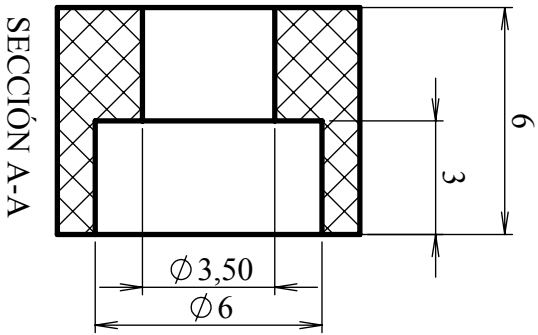
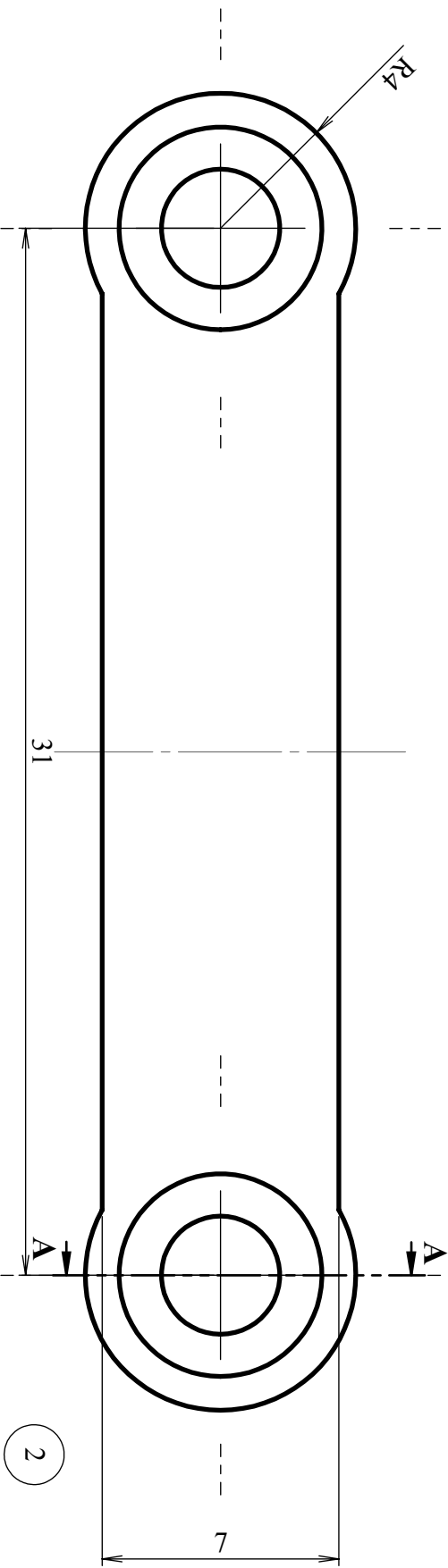
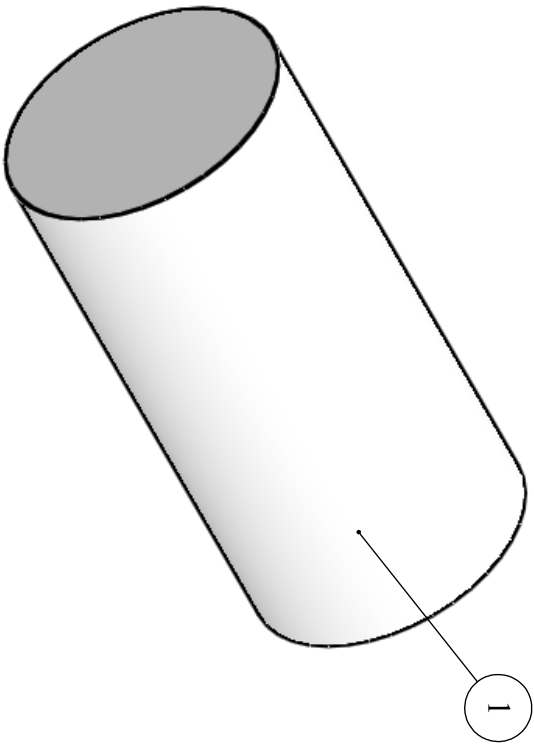
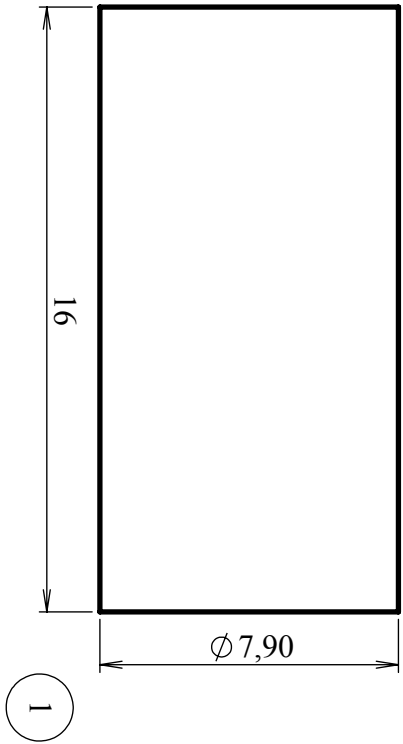
	Marca	Cantidad	Descripción		Norma
			Fecha	Nombre	Firma
	Dibujado	07/05/14	Miguel Ponce Antolín		
	Comprobado	07/07/14	Miguel Ponce Antolín		
El Ingeniero Técnico	Título: IMPRESORA 3D ROSTOCK				
	Designación Plano: PORTA BOLÍGRAFO				
	Firma				
Escala= 2:1	Material: ABS	Masa = 8.8 g	Volumen = 8594 mm3	Hoja 1/1	205




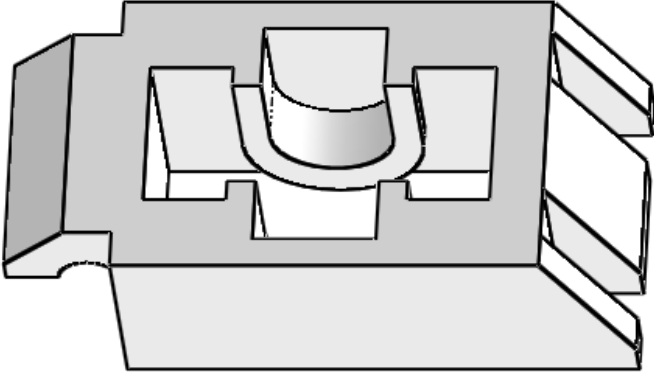
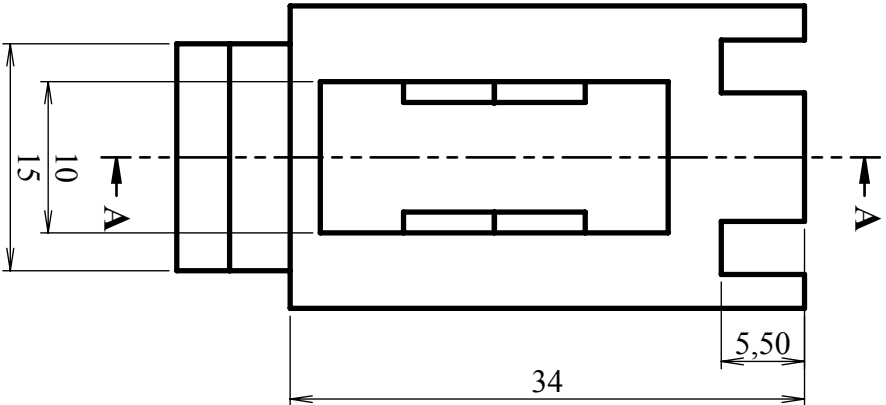
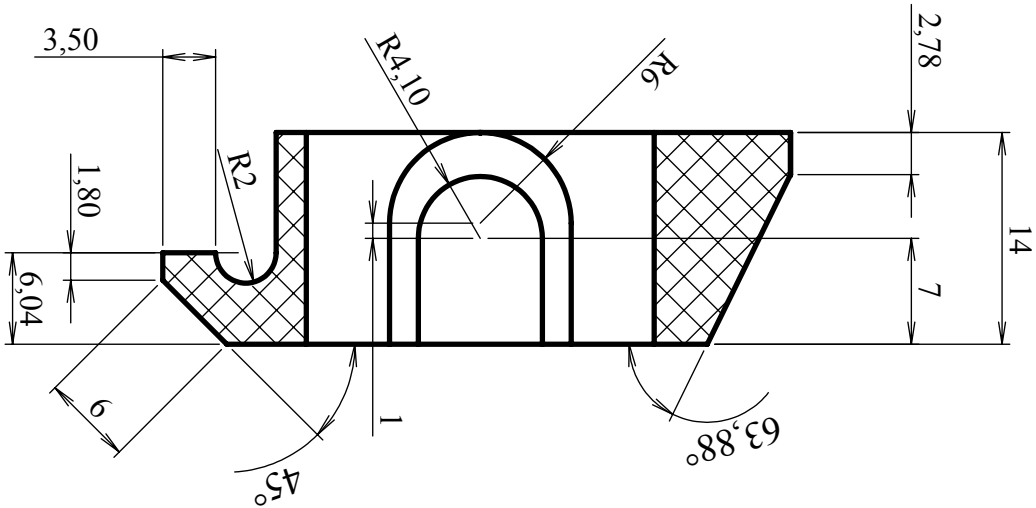
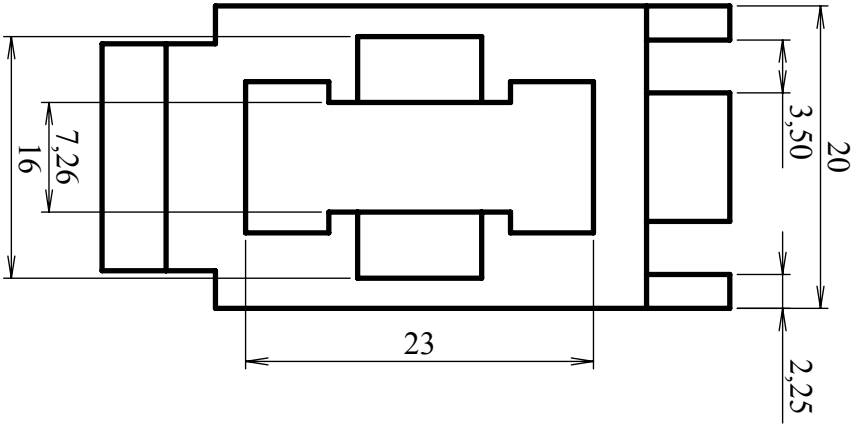
ESCALA 2:1




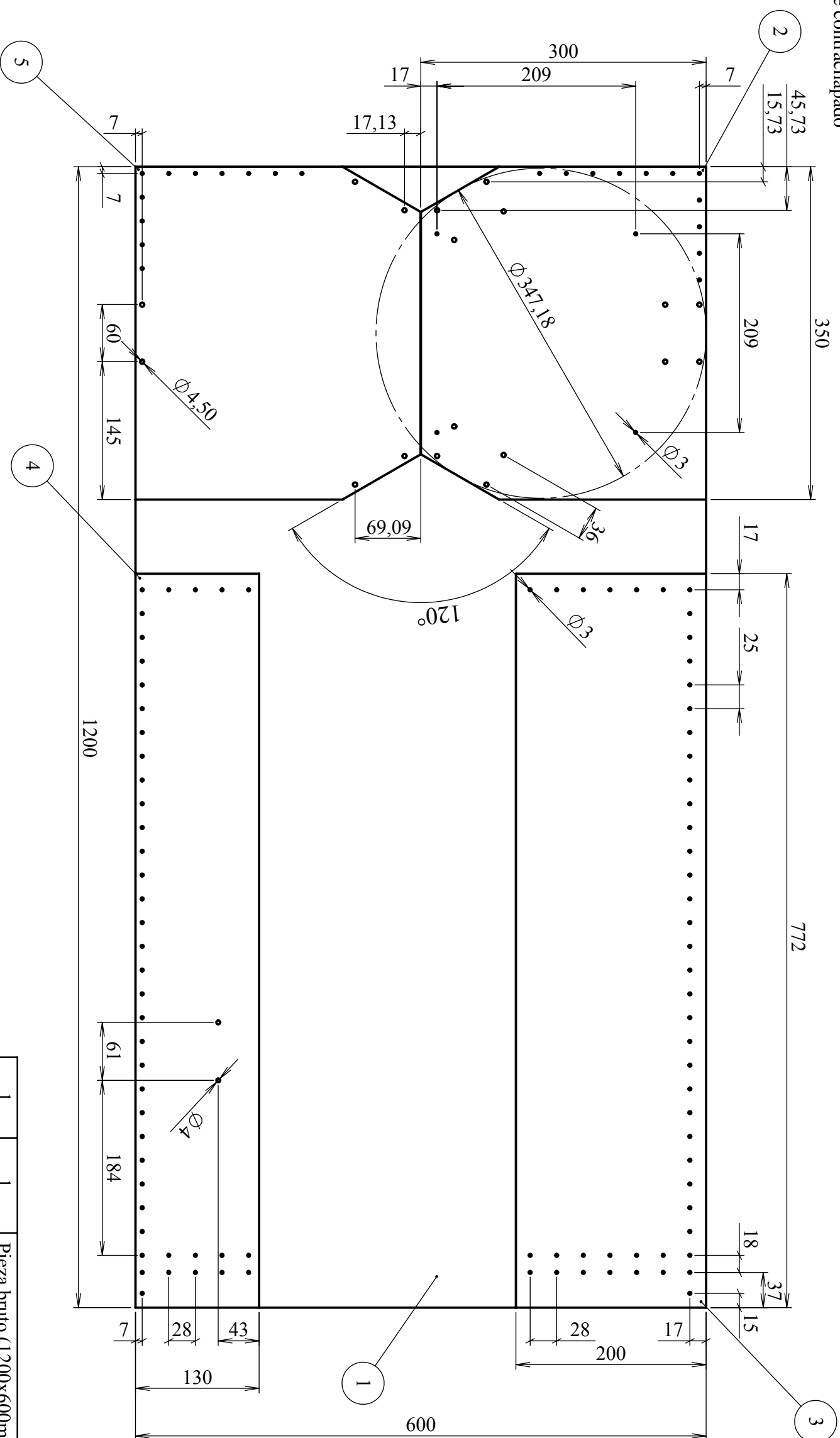
	Marca	Cantidad	Descripción		Norma
			Fecha	Nombre	Firma
	Dibujado	07/05/14	Miguel Ponce Antolín		
	Comprobado	07/07/14	Miguel Ponce Antolín		
El Ingeniero Técnico	Título: IMPRESORA 3D ROSTOCK				
	Designación Plano: CUERPO EXTRUSOR				
Firma					
Escala= 1:1	Material: ABS	Masa = 13.7 g	Volumen = 13490 mm3	Hoja 1/1	207



	1		Eje (m= 0.78g; V= 765mm3)		
	2		Puntal (m= 1.4g; V= 1392mm3)		
	Marca	Cantidad	Descripción		Norma
		Fecha	Nombre		Firma
	Dibujado	07/05/14	Miguel Ponce Antolín		
	Comprobado	07/07/14	Miguel Ponce Antolín		
El Ingeniero Técnico		Título: IMPRESORA 3D ROSTOCK			
Firma		Designación Plano: EJE Y PUNTAL			
Escala= 5:1	Material: ABS	Masa (Descrip.)	Volumen (Descripción)	Hoja 1/1	209



	Marca	Cantidad	Descripción		Norma
	Dibujado	07/05/14	Fecha	Nombre	Firma
	Comprobado	07/07/14	Fecha	Nombre	Firma
	Miguel Ponce Antolín				
El Ingeniero Técnico		Título:			
Firma		IMPRESORA 3D ROSTOCK			
Designación Plano:		PORTA RODAMIENTO			
Escala= 2:1		Material: ABS	Masa = 5.6 g	Volumen = 5497 mm3	Hoja 1/1
					211



1	1	Pieza bruto (1200x600mm)	
2	1	Pieza inferior (350x300mm)	
3	1	Pieza lateral ancha (772x200mm)	
4	1	Pieza lateral estrecha (772x130mm)	
5	1	Pieza superior (350x300mm)	
Marca	Cantidad	Descripción	Norma
	Fecha	Nombre	Firma
Dibujado	07/05/14	Miguel Ponce Antolín	
Comprobado	07/07/14	Miguel Ponce Antolín	

El Ingeniero Técnico

Título:

IMPRESORA 3D ROSTOCK

Designación Plano:

CORTE CONTRACHAPADO

Firma

Escala= 1:10

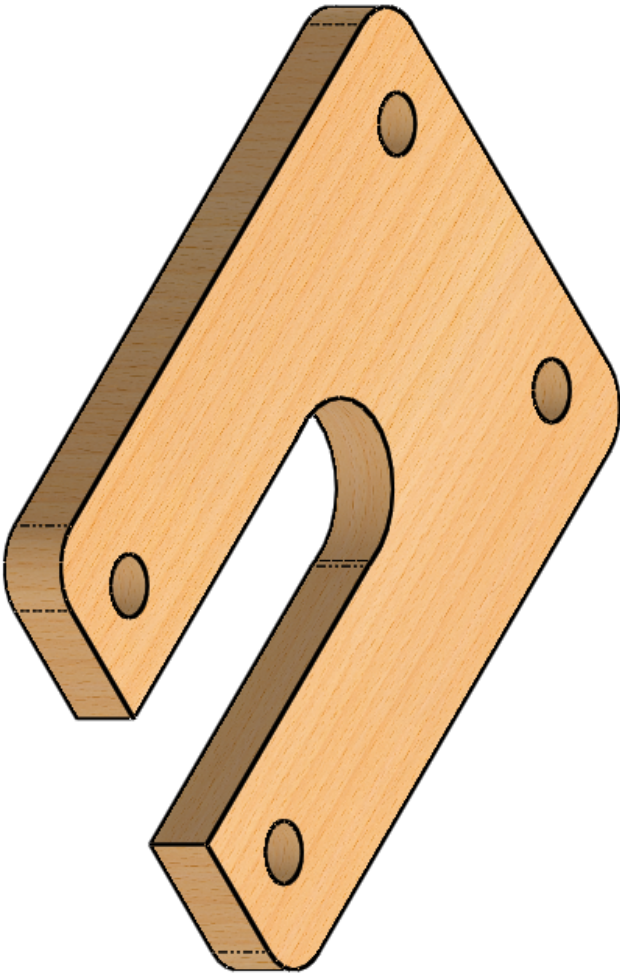
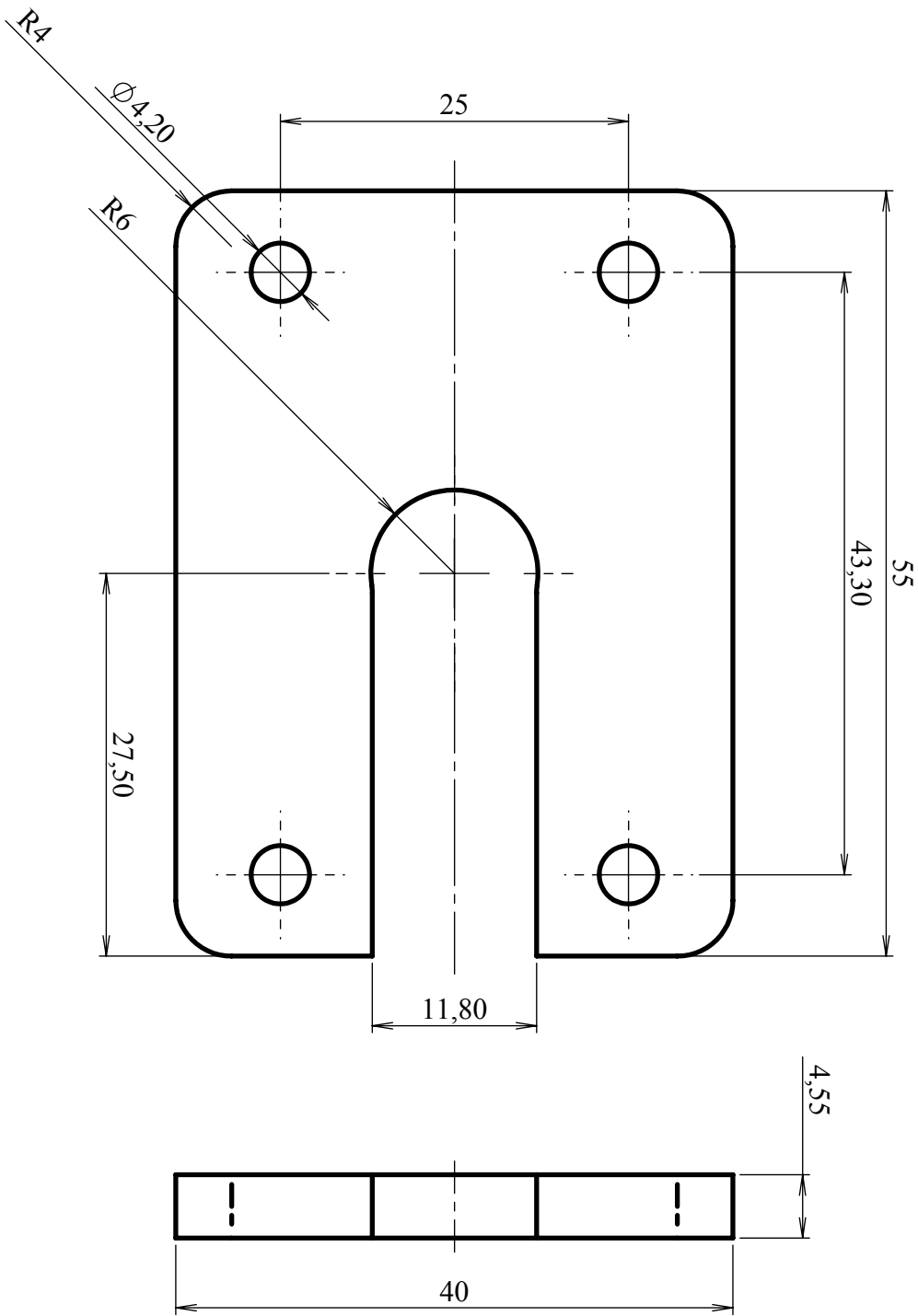
Material: Madera


Espeor: 10mm

Medidas: 1200x600mm

Hoja 1/1	
----------	--

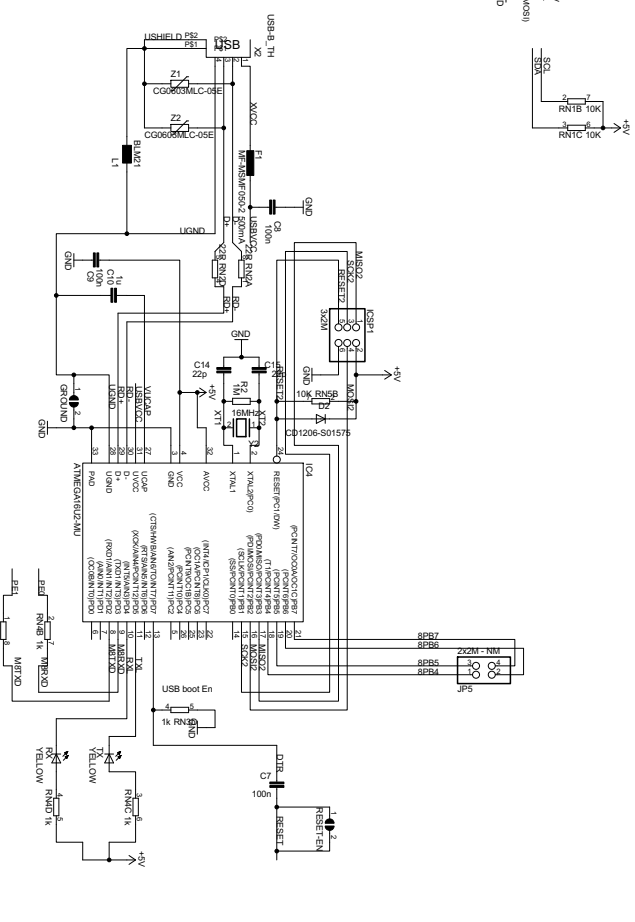
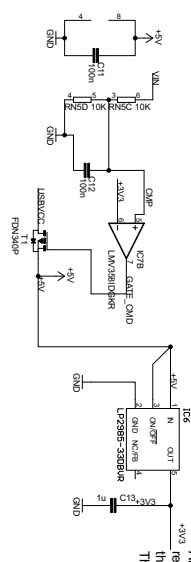
213



	Marca	Cantidad	Descripción		Norma
			Fecha	Nombre	Firma
	Dibujado	07/05/14	Miguel Ponce Antolín		
	Comprobado	07/07/14	Miguel Ponce Antolín		
El Ingeniero Técnico	Título: IMPRESORA 3D ROSTOCK				
Firma	Designación Plano: BRIDA UNIÓN J-HEAD CON PLATAFORMA				
	Escala= 2:1	Material: Madera		Bruto: 55x40mm	Hoja 1/1 215

ANEXO B

Datasheet (Hojas de características)



Reference Designs are PROPOSED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS." Arduino DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. Arduino may make changes to specifications and product descriptions at any time, without notice. The Customer must not rely on the absence or characteristics of any features or instructions marked "reserved" or "under development." Arduino reserves the right for future definition and shall have no responsibility whatsoever for conflicts or incompatibilities arising from future changes to them. The product information on the Web Site or Materials is subject to change without notice. Do not finalize a design with this information. **ARDUINO** is a registered trademark.

RAMPS 1.4

<http://reprap.org/wiki/ramps>



This is open hardware: you can redistribute it and/or modify it under the terms of the GNU General Public License as published by the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or (at your option) any later version.

This hardware design is distributed in the hope that it will be useful, but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the GNU General Public License for more details.

You should have received a copy of the GNU General Public License along with this program. If not, see <<http://www.gnu.org/licenses/>>.

!!! Reversing input power, and/or inserting stepper drivers incorrectly will destroy electronics and cause fire hazard!!!

Test all electronics thoroughly before placing into service.

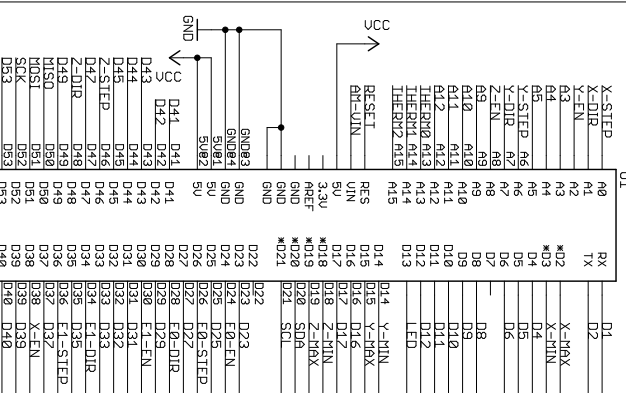
Do not leave power supplied to electronics unattended, or run machines unattended due to the risk of fire and malfunction.

This is NOT a toy and it contains small and sharp parts. Children can choke or suffocate by swallowing small objects. Keep all parts away from children and never leave printer/parts unattended.

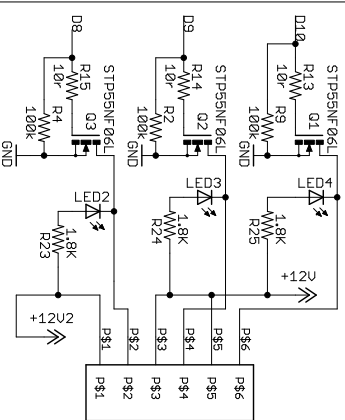
Bill of Materials

Qty	Part Name	Value	Package
3	C1,C5,C8	10uF	153CLV-0405
1	C2	100nF	C0805
6	C3,C4,C6,C7,C9,C10	100uF	153CLV-0605
2	D1,D2	1N4004	DO41-10
1	F1	MFR500	MFR500
1	F2	MFR1100	MFR1100
1	LED1	green	CHIP-LED0805
3	LED2,LED3,LED4	red	CHIP-LED0805
3	Q1,Q2,Q3	STP55NF06L	TO220BV
5	R1,R7,R11,R21,R22	4.7K (1%)	R0805
8	R2,R3,R4,R5,R6,R8,R9,R10	100k	R0805
1	R12	1K	R0805
3	R23,R24,R26	1.8K	R0806
3	R13,R14,R15	10r	R0805
5	R16,R17,R18,R19,R20	10k	R0805
1	S1	B3F-3100	B3F-31XX
1	U\$2	282837-6	282837-6
1	X4	MSTBA4	MSTBA4
1		0.1" 18x2 pin	
8		0.1" 2x3 pin	
5		0.1" 8x1 pin	
2		0.1" 6x1 pin	
6		0.1" 4x1 pin	
2		0.1" 24x1 female	
4		0.1" 8x1 female	
15		0.1" 2 pin jumper	

MEGA Conn.



Heaters & Fans



RAMPS 1.4 (RePrap Arduino Mega Pololu Shield)

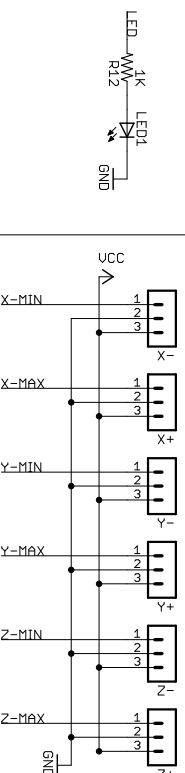
reprap.org/wiki/RAMPS1.4

Copyright 2011 Jonny Russell

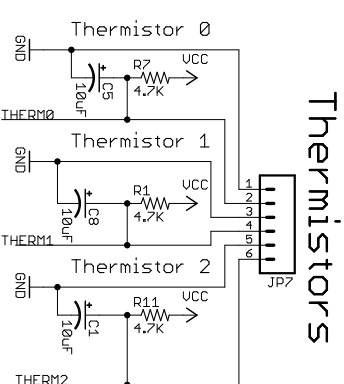
Ultimachine

GPL v3

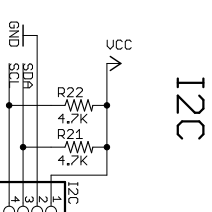
LED



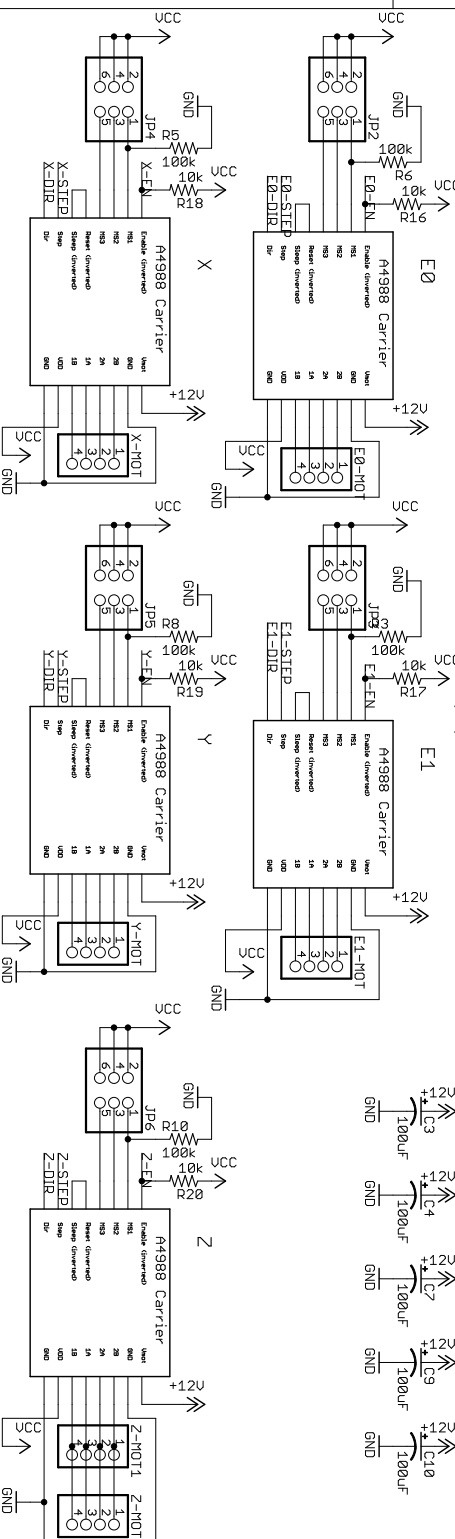
Endstops



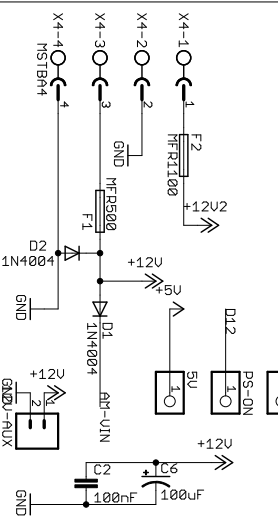
Thermistors



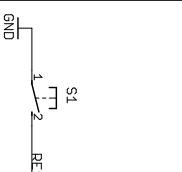
Stepper Drivers



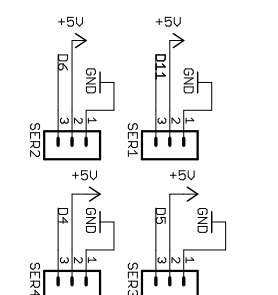
Power



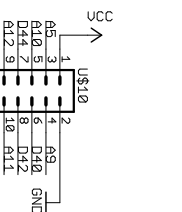
Reset



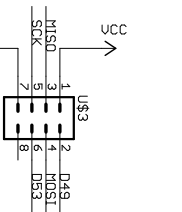
Servos



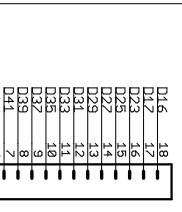
AUX-1



AUX-2



AUX-3



AUX-4



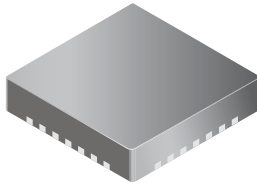
DMOS Microstepping Driver with Translator and Overcurrent Protection

Features and Benefits

- Low $R_{DS(ON)}$ outputs
- Automatic current decay mode detection/selection
- Mixed and Slow current decay modes
- Synchronous rectification for low power dissipation
- Internal UVLO
- Crossover-current protection
- 3.3 and 5 V compatible logic supply
- Thermal shutdown circuitry
- Short-to-ground protection
- Shorted load protection
- Five selectable step modes: full, $1/2$, $1/4$, $1/8$, and $1/16$

Package:

28-contact QFN
with exposed thermal pad
5 mm × 5 mm × 0.90 mm
(ET package)



Approximate size

Description

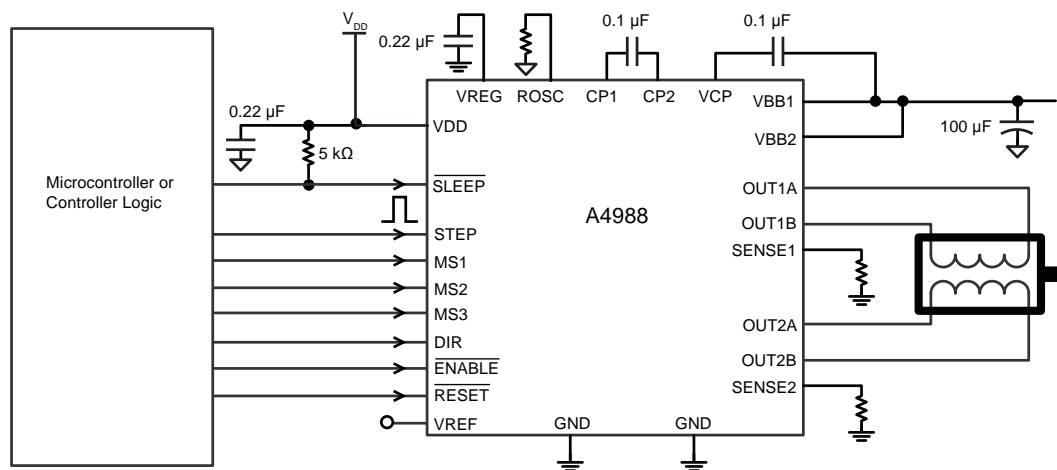
The A4988 is a complete microstepping motor driver with built-in translator for easy operation. It is designed to operate bipolar stepper motors in full-, half-, quarter-, eighth-, and sixteenth-step modes, with an output drive capacity of up to 35 V and ± 2 A. The A4988 includes a fixed off-time current regulator which has the ability to operate in Slow or Mixed decay modes.

The translator is the key to the easy implementation of the A4988. Simply inputting one pulse on the STEP input drives the motor one microstep. There are no phase sequence tables, high frequency control lines, or complex interfaces to program. The A4988 interface is an ideal fit for applications where a complex microprocessor is unavailable or is overburdened.

During stepping operation, the chopping control in the A4988 automatically selects the current decay mode, Slow or Mixed. In Mixed decay mode, the device is set initially to a fast decay for a proportion of the fixed off-time, then to a slow decay for the remainder of the off-time. Mixed decay current control results in reduced audible motor noise, increased step accuracy, and reduced power dissipation.

Continued on the next page...

Typical Application Diagram



Description (continued)

Internal synchronous rectification control circuitry is provided to improve power dissipation during PWM operation. Internal circuit protection includes: thermal shutdown with hysteresis, undervoltage lockout (UVLO), and crossover-current protection. Special power-on sequencing is not required.

The A4988 is supplied in a surface mount QFN package (ES), 5 mm × 5 mm, with a nominal overall package height of 0.90 mm and an exposed pad for enhanced thermal dissipation. It is lead (Pb) free (suffix –T), with 100% matte tin plated leadframes.

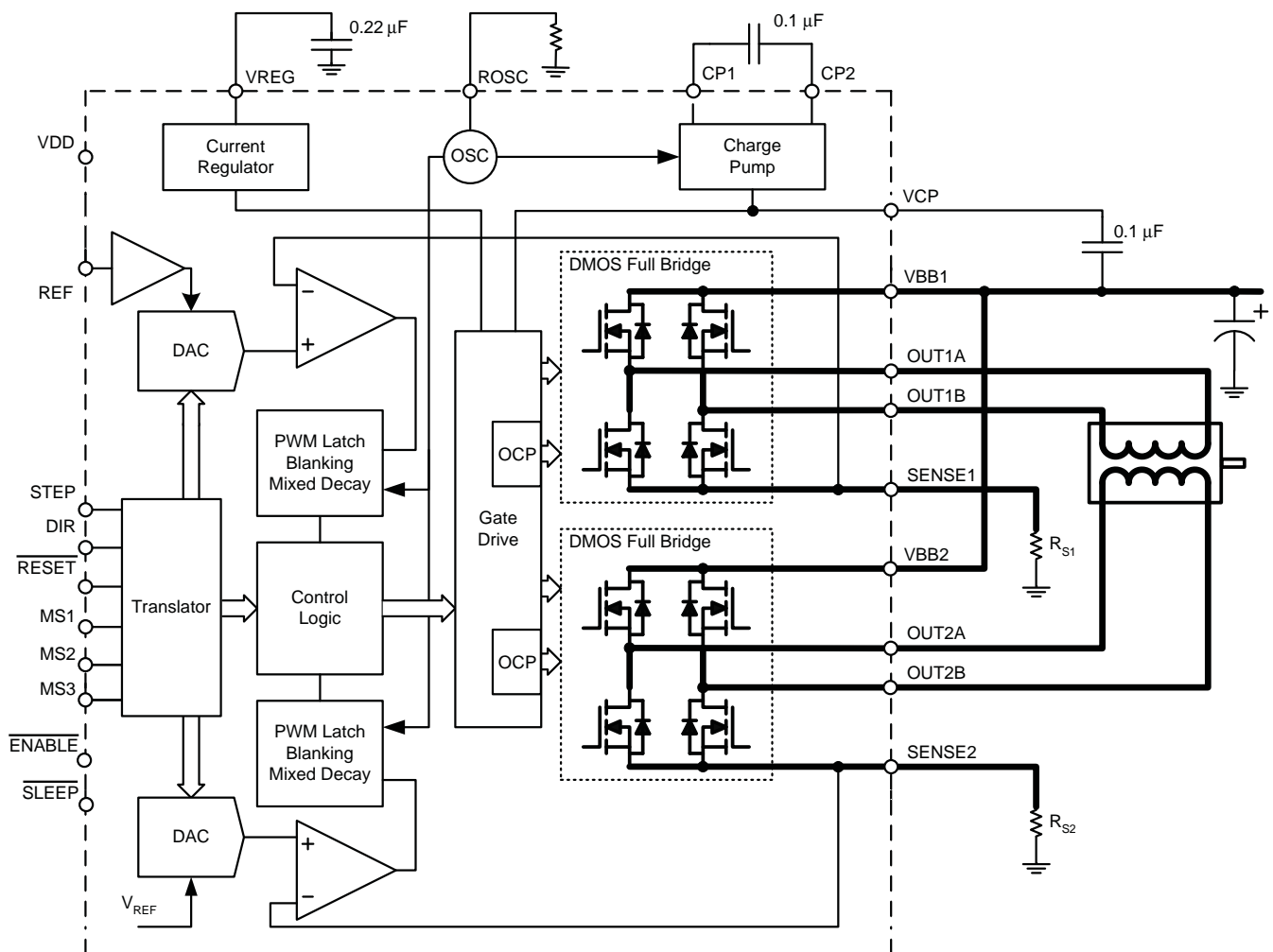
Selection Guide

Part Number	Package	Packing
A4988SETTR-T	28-contact QFN with exposed thermal pad	1500 pieces per 7-in. reel

Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Load Supply Voltage	V_{BB}		35	V
Output Current	I_{OUT}		±2	A
Logic Input Voltage	V_{IN}		–0.3 to 5.5	V
Logic Supply Voltage	V_{DD}		–0.3 to 5.5	V
VBBx to OUTx			35	V
Sense Voltage	V_{SENSE}		0.5	V
Reference Voltage	V_{REF}		5.5	V
Operating Ambient Temperature	T_A	Range S	–20 to 85	°C
Maximum Junction	$T_J(max)$		150	°C
Storage Temperature	T_{stg}		–55 to 150	°C

Functional Block Diagram



ELECTRICAL CHARACTERISTICS¹ at $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{BB} = 35\text{ V}$ (unless otherwise noted)

Characteristics	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ. ²	Max.	Units
Output Drivers						
Load Supply Voltage Range	V _{BB}	Operating	8	–	35	V
Logic Supply Voltage Range	V _{DD}	Operating	3.0	–	5.5	V
Output On Resistance	R _{DS(on)}	Source Driver, I _{OUT} = –1.5 A	–	320	430	mΩ
		Sink Driver, I _{OUT} = 1.5 A	–	320	430	mΩ
Body Diode Forward Voltage	V _F	Source Diode, I _F = –1.5 A	–	–	1.2	V
		Sink Diode, I _F = 1.5 A	–	–	1.2	V
Motor Supply Current	I _{BB}	f _{PWM} < 50 kHz	–	–	4	mA
		Operating, outputs disabled	–	–	2	mA
Logic Supply Current	I _{DD}	f _{PWM} < 50 kHz	–	–	8	mA
		Outputs off	–	–	5	mA
Control Logic						
Logic Input Voltage	V _{IN(1)}		V _{DD} ×0.7	–	–	V
	V _{IN(0)}		–	–	V _{DD} ×0.3	V
Logic Input Current	I _{IN(1)}	V _{IN} = V _{DD} ×0.7	–20	<1.0	20	μA
	I _{IN(0)}	V _{IN} = V _{DD} ×0.3	–20	<1.0	20	μA
Microstep Select	R _{MS1}	MS1 pin	–	100	–	kΩ
	R _{MS2}	MS2 pin	–	50	–	kΩ
	R _{MS3}	MS3 pin	–	100	–	kΩ
Logic Input Hysteresis	V _{HYS(IN)}	As a % of V _{DD}	5	11	19	%
Blank Time	t _{BLANK}		0.7	1	1.3	μs
Fixed Off-Time	t _{OFF}	OSC = VDD or GND	20	30	40	μs
		R _{OSC} = 25 kΩ	23	30	37	μs
Reference Input Voltage Range	V _{REF}		0	–	4	V
Reference Input Current	I _{REF}		–3	0	3	μA
Current Trip-Level Error ³	err _I	V _{REF} = 2 V, %I _{TripMAX} = 38.27%	–	–	±15	%
		V _{REF} = 2 V, %I _{TripMAX} = 70.71%	–	–	±5	%
		V _{REF} = 2 V, %I _{TripMAX} = 100.00%	–	–	±5	%
Crossover Dead Time	t _{DT}		100	475	800	ns
Protection						
Overcurrent Protection Threshold	I _{OCPST}		2.1	–	–	A
Thermal Shutdown Temperature	T _{TSD}		–	165	–	°C
Thermal Shutdown Hysteresis	T _{TSDHYS}		–	15	–	°C
VDD Undervoltage Lockout	V _{DDUVLO}	V _{DD} rising	2.7	2.8	2.9	V
VDD Undervoltage Hysteresis	V _{DDUVLOHYS}		–	90	–	mV

¹For input and output current specifications, negative current is defined as coming out of (sourcing) the specified device pin.

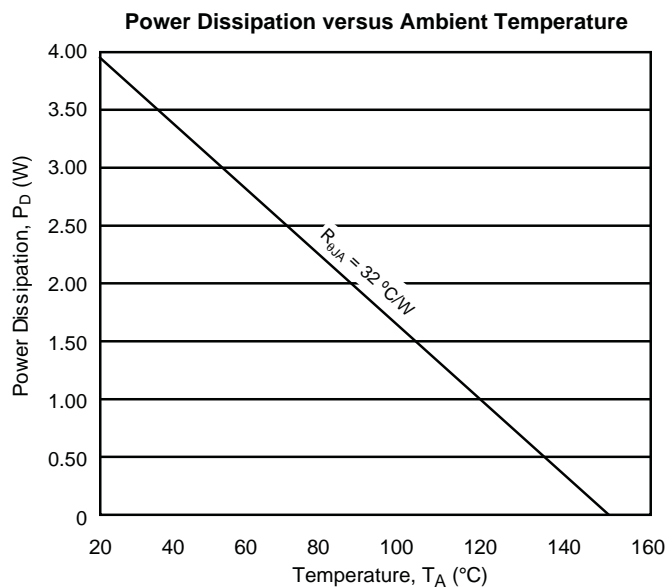
²Typical data are for initial design estimations only, and assume optimum manufacturing and application conditions. Performance may vary for individual units, within the specified maximum and minimum limits.

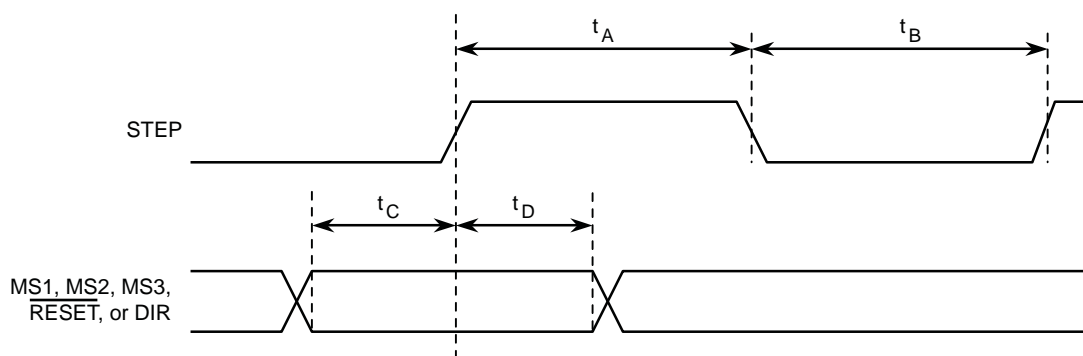
³ $V_{ERR} = [(V_{REF}/8) - V_{SENSE}] / (V_{REF}/8)$.

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Test Conditions*	Value	Units
Package Thermal Resistance	$R_{\theta JA}$	Four-layer PCB, based on JEDEC standard	32	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$

*Additional thermal information available on Allegro Web site.





Time Duration	Symbol	Typ.	Unit
STEP minimum, HIGH pulse width	t_A	1	μs
STEP minimum, LOW pulse width	t_B	1	μs
Setup time, input change to STEP	t_C	200	ns
Hold time, input change to STEP	t_D	200	ns

Figure 1. Logic Interface Timing Diagram

Table 1. Microstepping Resolution Truth Table

MS1	MS2	MS3	Microstep Resolution	Excitation Mode
L	L	L	Full Step	2 Phase
H	L	L	Half Step	1-2 Phase
L	H	L	Quarter Step	W1-2 Phase
H	H	L	Eighth Step	2W1-2 Phase
H	H	H	Sixteenth Step	4W1-2 Phase

Functional Description

Device Operation. The A4988 is a complete microstepping motor driver with a built-in translator for easy operation with minimal control lines. It is designed to operate bipolar stepper motors in full-, half-, quarter-, eighth, and sixteenth-step modes. The currents in each of the two output full-bridges and all of the N-channel DMOS FETs are regulated with fixed off-time PWM (pulse width modulated) control circuitry. At each step, the current for each full-bridge is set by the value of its external current-sense resistor (R_{S1} and R_{S2}), a reference voltage (V_{REF}), and the output voltage of its DAC (which in turn is controlled by the output of the translator).

At power-on or reset, the translator sets the DACs and the phase current polarity to the initial Home state (shown in figures 8 through 12), and the current regulator to Mixed Decay Mode for both phases. When a step command signal occurs on the STEP input, the translator automatically sequences the DACs to the next level and current polarity. (See table 2 for the current-level sequence.) The microstep resolution is set by the combined effect of the MSx inputs, as shown in table 1.

When stepping, if the new output levels of the DACs are lower than their previous output levels, then the decay mode for the active full-bridge is set to Mixed. If the new output levels of the DACs are higher than or equal to their previous levels, then the decay mode for the active full-bridge is set to Slow. This automatic current decay selection improves microstepping performance by reducing the distortion of the current waveform that results from the back EMF of the motor.

Microstep Select (MSx). The microstep resolution is set by the voltage on logic inputs MSx, as shown in table 1. The MS1 and MS3 pins have a 100 k Ω pull-down resistance, and the MS2 pin has a 50 k Ω pull-down resistance. When changing the step mode the change does not take effect until the next STEP rising edge.

If the step mode is changed without a translator reset, and absolute position must be maintained, it is important to change the step mode at a step position that is common to both step modes in order to avoid missing steps. When the device is powered down, or reset due to TSD or an over current event the translator is set to the home position which is by default common to all step modes.

Mixed Decay Operation. The bridge operates in Mixed decay mode, at power-on and reset, and during normal running according to the ROSC configuration and the step sequence, as shown in figures 8 through 12. During Mixed decay, when the trip point is reached, the A4988 initially goes into a fast decay mode for 31.25% of the off-time, t_{OFF} . After that, it switches to Slow decay mode for the remainder of t_{OFF} . A timing diagram for this feature appears on the next page.

Typically, mixed decay is only necessary when the current in the winding is going from a higher value to a lower value as determined by the state of the translator. For most loads automatically-selected mixed decay is convenient because it minimizes ripple when the current is rising and prevents missed steps when the current is falling. For some applications where microstepping at very low speeds is necessary, the lack of back EMF in the winding causes the current to increase in the load quickly, resulting in missed steps. This is shown in figure 2. By pulling the ROSC pin to ground, mixed decay is set to be active 100% of the time, for both rising and falling currents, and prevents missed steps as shown in figure 3. If this is not an issue, it is recommended that automatically-selected mixed decay be used, because it will produce reduced ripple currents. Refer to the Fixed Off-Time section for details.

Low Current Microstepping. Intended for applications where the minimum on-time prevents the output current from regulating to the programmed current level at low current steps. To prevent this, the device can be set to operate in Mixed decay mode on both rising and falling portions of the current waveform. This feature is implemented by shorting the ROSC pin to ground. In this state, the off-time is internally set to 30 μ s.

Reset Input (RESET). The RESET input sets the translator to a predefined Home state (shown in figures 8 through 12), and turns off all of the FET outputs. All STEP inputs are ignored until the RESET input is set to high.

Step Input (STEP). A low-to-high transition on the STEP input sequences the translator and advances the motor one increment. The translator controls the input to the DACs and the direc-

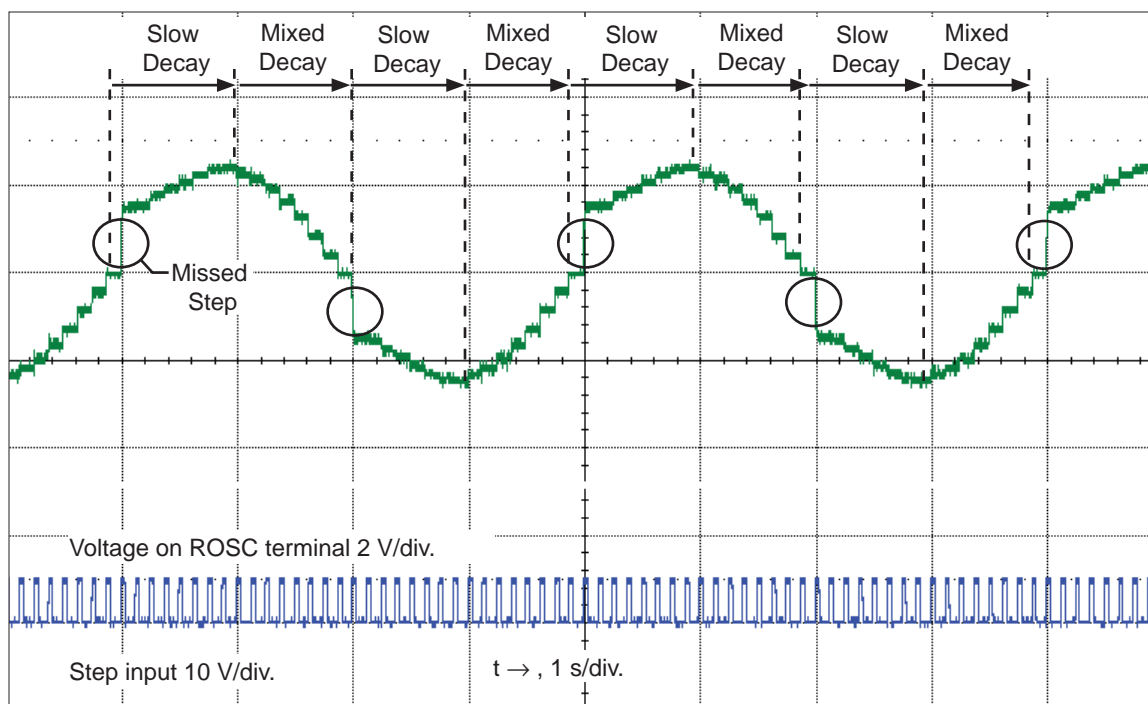


Figure 2. Missed steps in low-speed microstepping

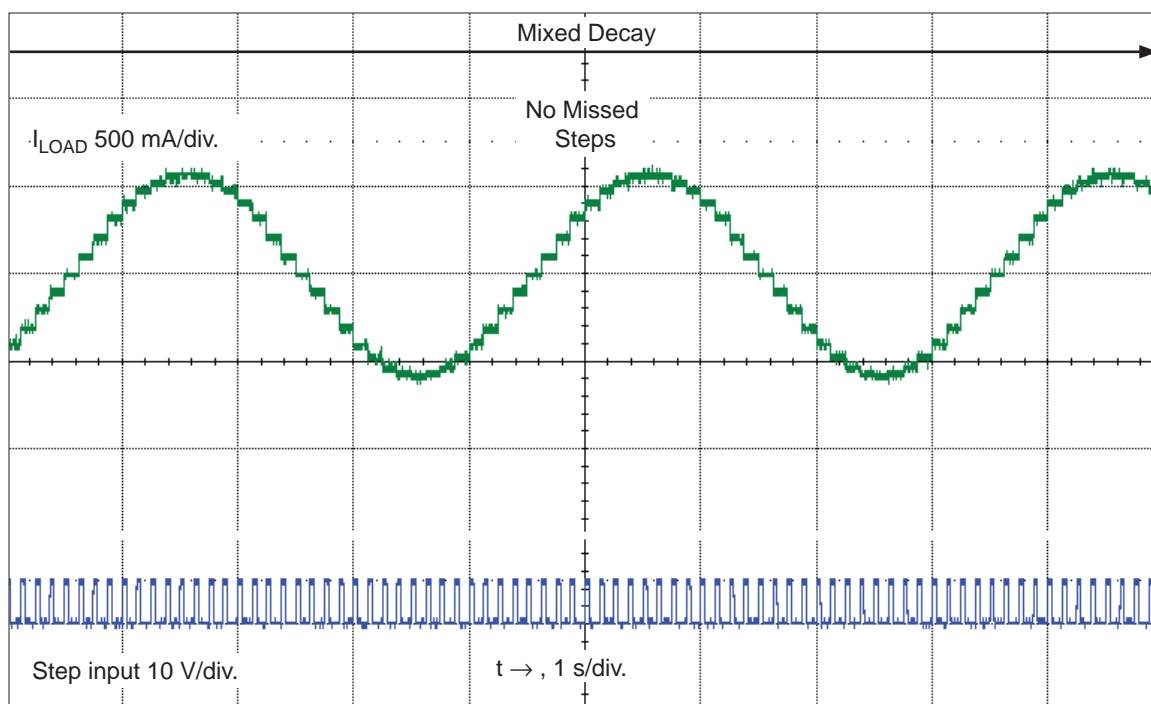


Figure 3. Continuous stepping using automatically-selected mixed stepping (ROSC pin grounded)

tion of current flow in each winding. The size of the increment is determined by the combined state of the MSx inputs.

Direction Input (DIR). This determines the direction of rotation of the motor. Changes to this input do not take effect until the next STEP rising edge.

Internal PWM Current Control. Each full-bridge is controlled by a fixed off-time PWM current control circuit that limits the load current to a desired value, I_{TRIP} . Initially, a diagonal pair of source and sink FET outputs are enabled and current flows through the motor winding and the current sense resistor, R_{Sx} . When the voltage across R_{Sx} equals the DAC output voltage, the current sense comparator resets the PWM latch. The latch then turns off the appropriate source driver and initiates a fixed off time decay mode

The maximum value of current limiting is set by the selection of R_{Sx} and the voltage at the VREF pin. The transconductance function is approximated by the maximum value of current limiting, $I_{TripMAX}$ (A), which is set by

$$I_{TripMAX} = V_{REF} / (8 \times R_S)$$

where R_S is the resistance of the sense resistor (Ω) and V_{REF} is the input voltage on the REF pin (V).

The DAC output reduces the V_{REF} output to the current sense comparator in precise steps, such that

$$I_{trip} = (\%I_{TripMAX} / 100) \times I_{TripMAX}$$

(See table 2 for $\%I_{TripMAX}$ at each step.)

It is critical that the maximum rating (0.5 V) on the SENSE1 and SENSE2 pins is not exceeded.

Fixed Off-Time. The internal PWM current control circuitry uses a one-shot circuit to control the duration of time that the DMOS FETs remain off. The off-time, t_{OFF} , is determined by the ROSC terminal. The ROSC terminal has three settings:

- ROSC tied to VDD — off-time internally set to 30 μ s, decay mode is automatic Mixed decay except when in full step where decay mode is set to Slow decay
- ROSC tied directly to ground — off-time internally set to 30 μ s, current decay is set to Mixed decay for both increasing and decreasing currents, except in full step where decay mode is set to Slow decay. (See Low Current Microstepping section.)

- ROSC through a resistor to ground — off-time is determined by the following formula, the decay mode is automatic Mixed decay for all step modes.

$$t_{OFF} \approx R_{OSC} / 825$$

Where t_{OFF} is in μ s.

Blanking. This function blanks the output of the current sense comparators when the outputs are switched by the internal current control circuitry. The comparator outputs are blanked to prevent false overcurrent detection due to reverse recovery currents of the clamp diodes, and switching transients related to the capacitance of the load. The blank time, t_{BLANK} (μ s), is approximately

$$t_{BLANK} \approx 1 \mu s$$

Shorted-Load and Short-to-Ground Protection.

If the motor leads are shorted together, or if one of the leads is shorted to ground, the driver will protect itself by sensing the overcurrent event and disabling the driver that is shorted, protecting the device from damage. In the case of a short-to-ground, the device will remain disabled (latched) until the SLEEP input goes high or VDD power is removed. A short-to-ground overcurrent event is shown in figure 4.

When the two outputs are shorted together, the current path is through the sense resistor. After the blanking time ($\approx 1 \mu$ s) expires, the sense resistor voltage is exceeding its trip value, due to the overcurrent condition that exists. This causes the driver to go into a fixed off-time cycle. After the fixed off-time expires the driver turns on again and the process repeats. In this condition the driver is completely protected against overcurrent events, but the short is repetitive with a period equal to the fixed off-time of the driver. This condition is shown in figure 5.

During a shorted load event it is normal to observe both a positive and negative current spike as shown in figure 3, due to the direction change implemented by the Mixed decay feature. This is shown in figure 6. In both instances the overcurrent circuitry is protecting the driver and prevents damage to the device.

Charge Pump (CP1 and CP2). The charge pump is used to generate a gate supply greater than that of VBB for driving the source-side FET gates. A 0.1 μ F ceramic capacitor, should be connected between CP1 and CP2. In addition, a 0.1 μ F ceramic capacitor is required between VCP and VBB, to act as a reservoir for operating the high-side FET gates.

Capacitor values should be Class 2 dielectric $\pm 15\%$ maximum, or tolerance R, according to EIA (Electronic Industries Alliance) specifications.

V_{REG} (VREG). This internally-generated voltage is used to operate the sink-side FET outputs. The VREG pin must be decoupled with a 0.22 μ F ceramic capacitor to ground. V_{REG} is internally monitored. In the case of a fault condition, the FET outputs of the A4988 are disabled.

Capacitor values should be Class 2 dielectric $\pm 15\%$ maximum, or tolerance R, according to EIA (Electronic Industries Alliance) specifications.

Enable Input (EN_{ABLE}). This input turns on or off all of the FET outputs. When set to a logic high, the outputs are disabled. When set to a logic low, the internal control enables the outputs as required. The translator inputs STEP, DIR, and MS_x, as well as the internal sequencing logic, all remain active, independent of the EN_{ABLE} input state.

Shutdown. In the event of a fault, overtemperature (excess T_J) or an undervoltage (on VCP), the FET outputs of the A4988 are disabled until the fault condition is removed. At power-on, the UVLO (undervoltage lockout) circuit disables the FET outputs and resets the translator to the Home state.

Sleep Mode (S_LE_EP). To minimize power consumption when the motor is not in use, this input disables much of the internal circuitry including the output FETs, current regulator, and charge pump. A logic low on the SLEEP pin puts the A4988 into Sleep mode. A logic high allows normal operation, as well as start-up (at which time the A4988 drives the motor to the Home microstep position). When emerging from Sleep mode, in order to allow the charge pump to stabilize, provide a delay of 1 ms before issuing a Step command.

Mixed Decay Operation. The bridge operates in Mixed Decay mode, depending on the step sequence, as shown in figures 8 through 12. As the trip point is reached, the A4988 initially goes into a fast decay mode for 31.25% of the off-time, t_{OFF} . After that, it switches to Slow Decay mode for the remainder of t_{OFF} . A timing diagram for this feature appears in figure 7.

Synchronous Rectification. When a PWM-off cycle is triggered by an internal fixed-off time cycle, load current recirculates according to the decay mode selected by the control logic. This synchronous rectification feature turns on the appropriate FETs during current decay, and effectively shorts out the body diodes with the low FET $R_{DS(ON)}$. This reduces power dissipation significantly, and can eliminate the need for external Schottky diodes in many applications. Synchronous rectification turns off when the load current approaches zero (0 A), preventing reversal of the load current.

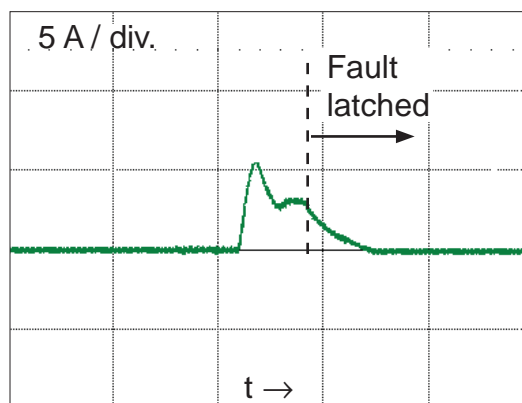


Figure 4. Short-to-ground event

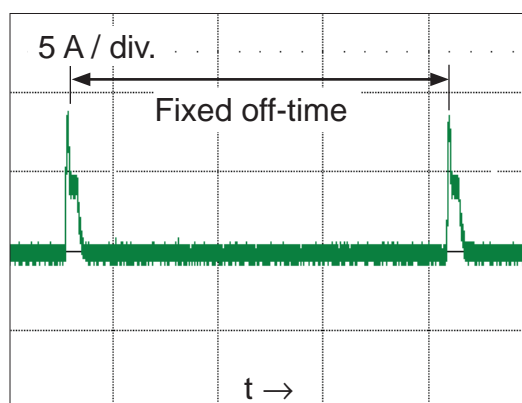


Figure 5. Shorted load (OUTxA → OUTxB) in Slow decay mode

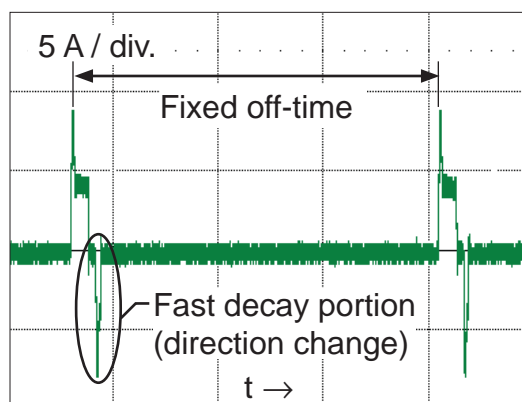
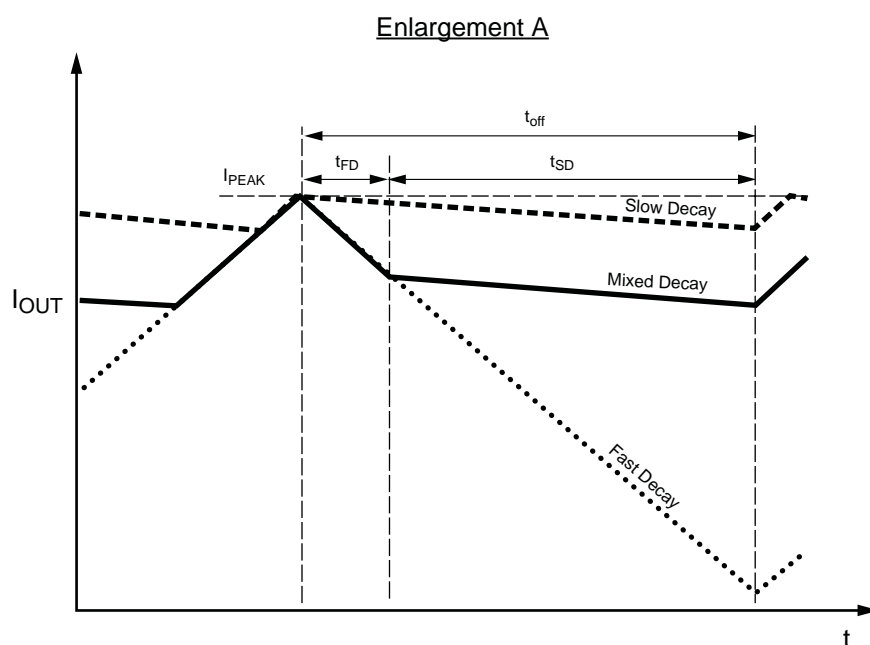
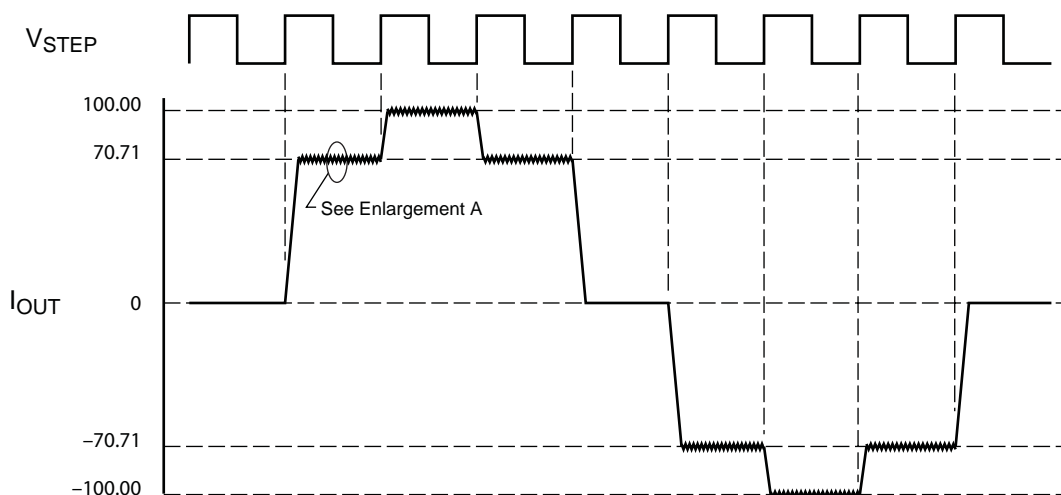


Figure 6. Shorted load (OUTxA → OUTxB) in Mixed decay mode



Symbol	Characteristic
t_{off}	Device fixed off-time
I_{PEAK}	Maximum output current
t_{SD}	Slow decay interval
t_{FD}	Fast decay interval
I_{OUT}	Device output current

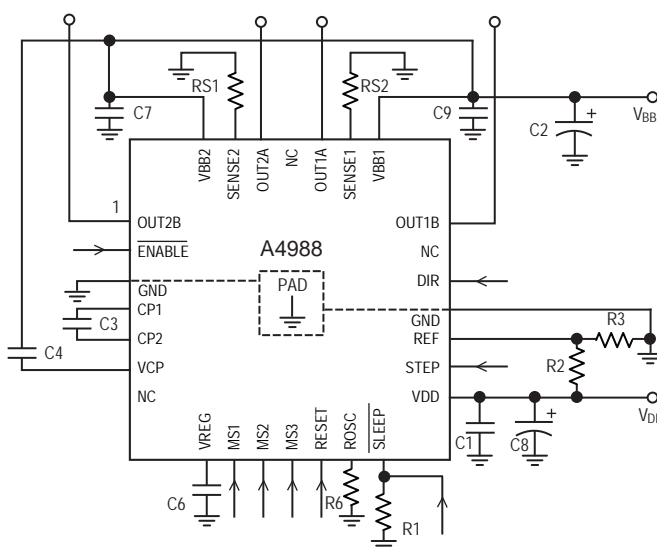
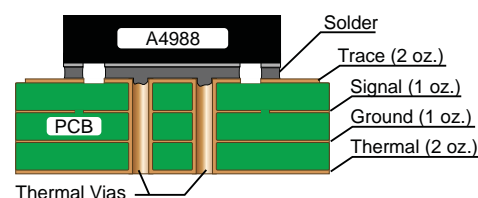
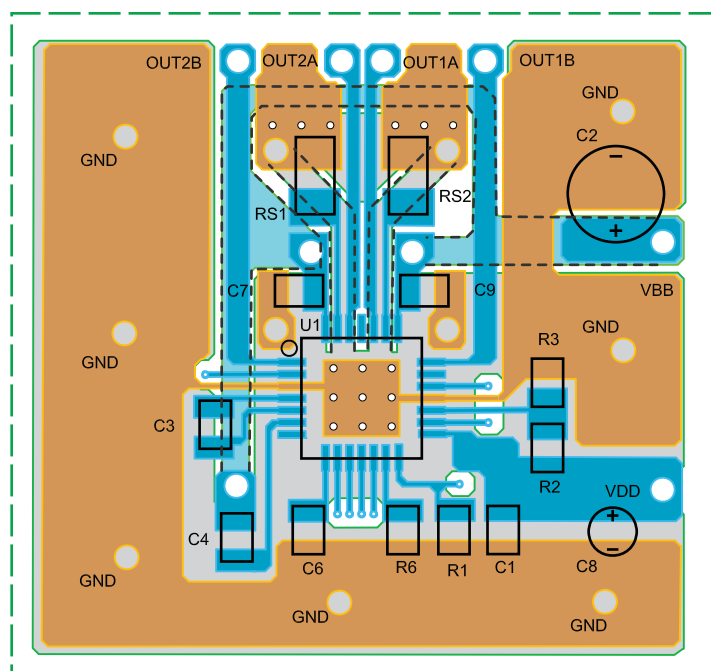
Figure 7. Current Decay Modes Timing Chart

Application Layout

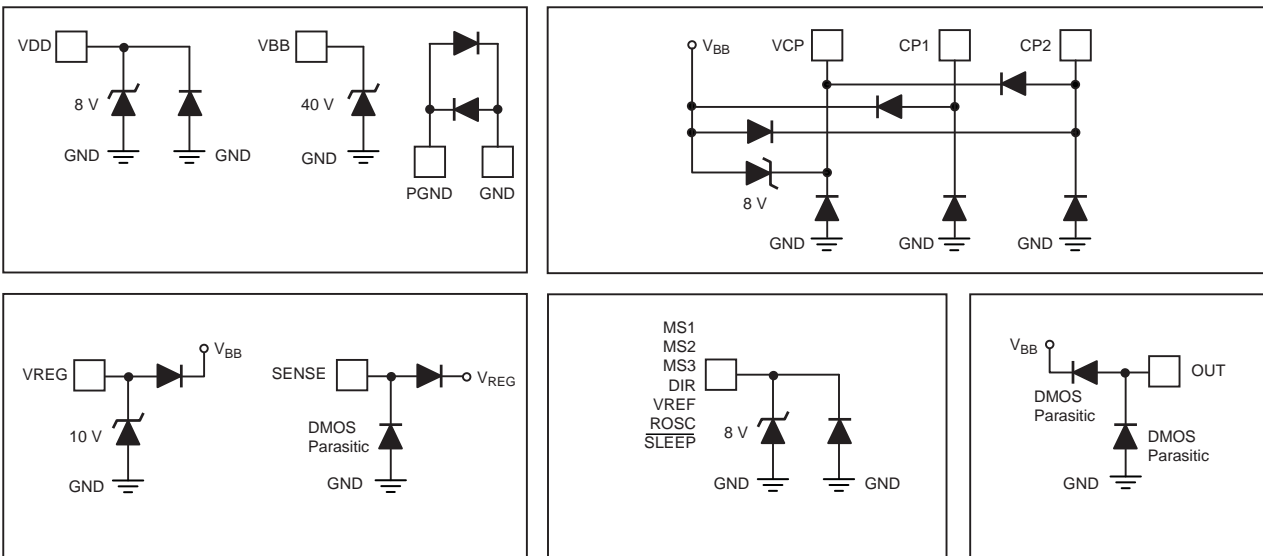
Layout. The printed circuit board should use a heavy ground-plane. For optimum electrical and thermal performance, the A4988 must be soldered directly onto the board. Pins 6, 7, 18, and 19 are internally fused, which provides a path for enhanced thermal dissipation. These pins should be soldered directly to an exposed surface on the PCB that connects to thermal vias are used to transfer heat to other layers of the PCB.

In order to minimize the effects of ground bounce and offset issues, it is important to have a low impedance single-point ground, known as a *star ground*, located very close to the device. By making the connection between the pad and the ground plane directly under the A4988, that area becomes an ideal location for a star ground point. A low impedance ground will prevent ground bounce during high current operation and ensure that the supply voltage remains stable at the input terminal.

The two input capacitors should be placed in parallel, and as close to the device supply pins as possible. The ceramic capacitor (CIN1) should be closer to the pins than the bulk capacitor (CIN2). This is necessary because the ceramic capacitor will be responsible for delivering the high frequency current components. The sense resistors, RSx, should have a very low impedance path to ground, because they must carry a large current while supporting very accurate voltage measurements by the current sense comparators. Long ground traces will cause additional voltage drops, adversely affecting the ability of the comparators to accurately measure the current in the windings. The SENSEx pins have very short traces to the RSx resistors and very thick, low impedance traces directly to the star ground underneath the device. If possible, there should be no other components on the sense circuits.



Pin Circuit Diagrams



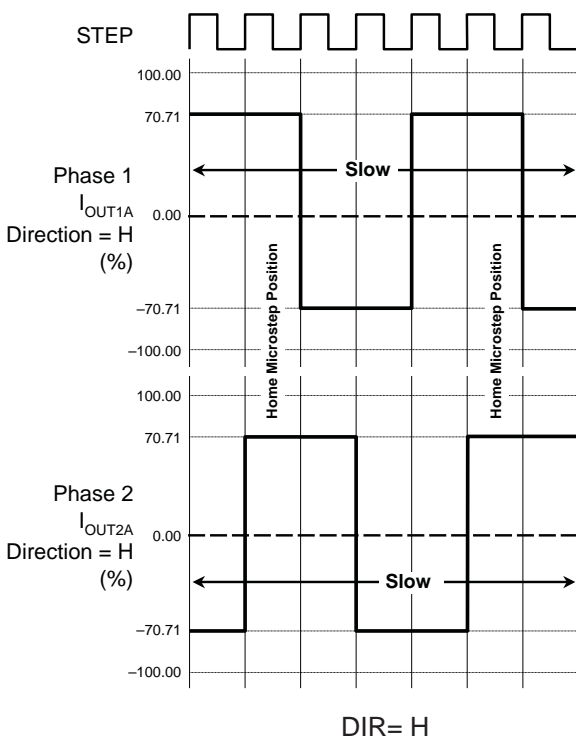


Figure 8. Decay Mode for Full-Step Increments

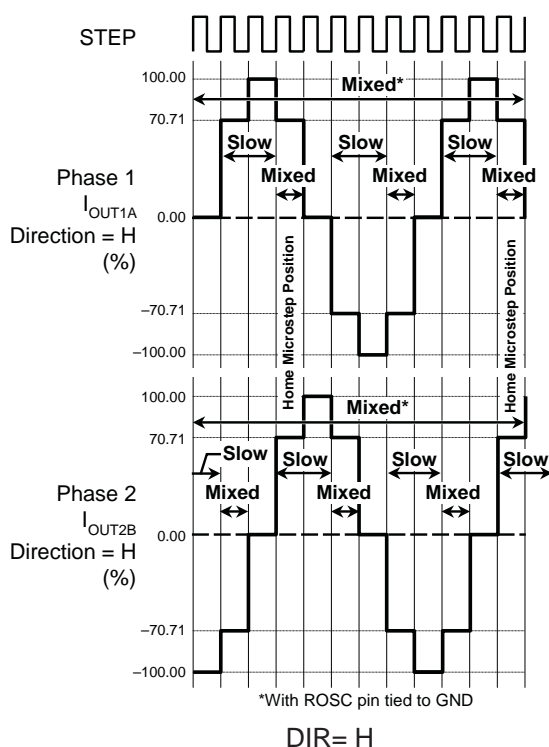


Figure 9. Decay Modes for Half-Step Increments

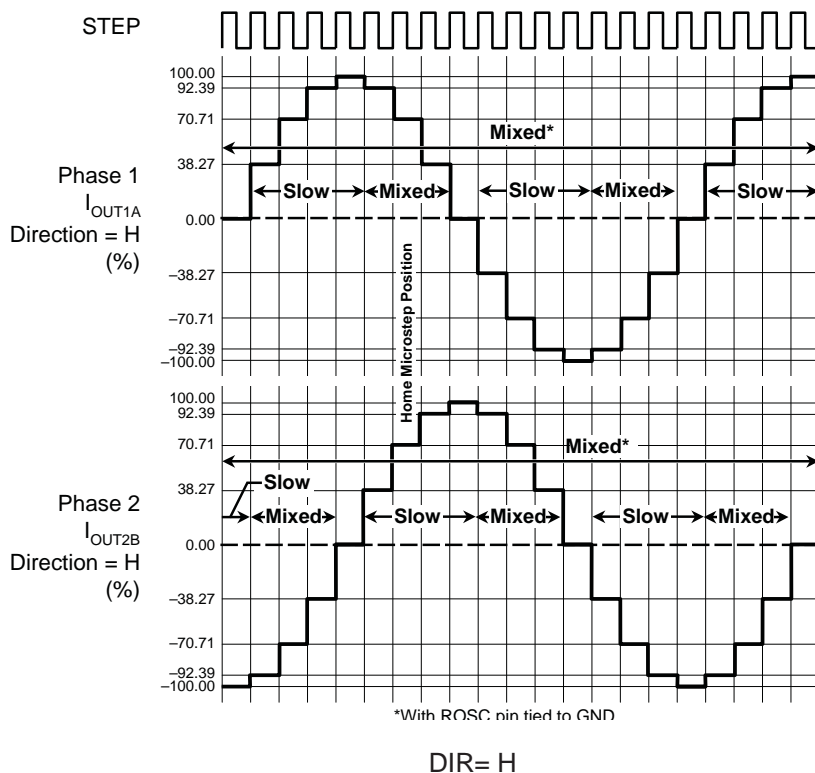


Figure 10. Decay Modes for Quarter-Step Increments

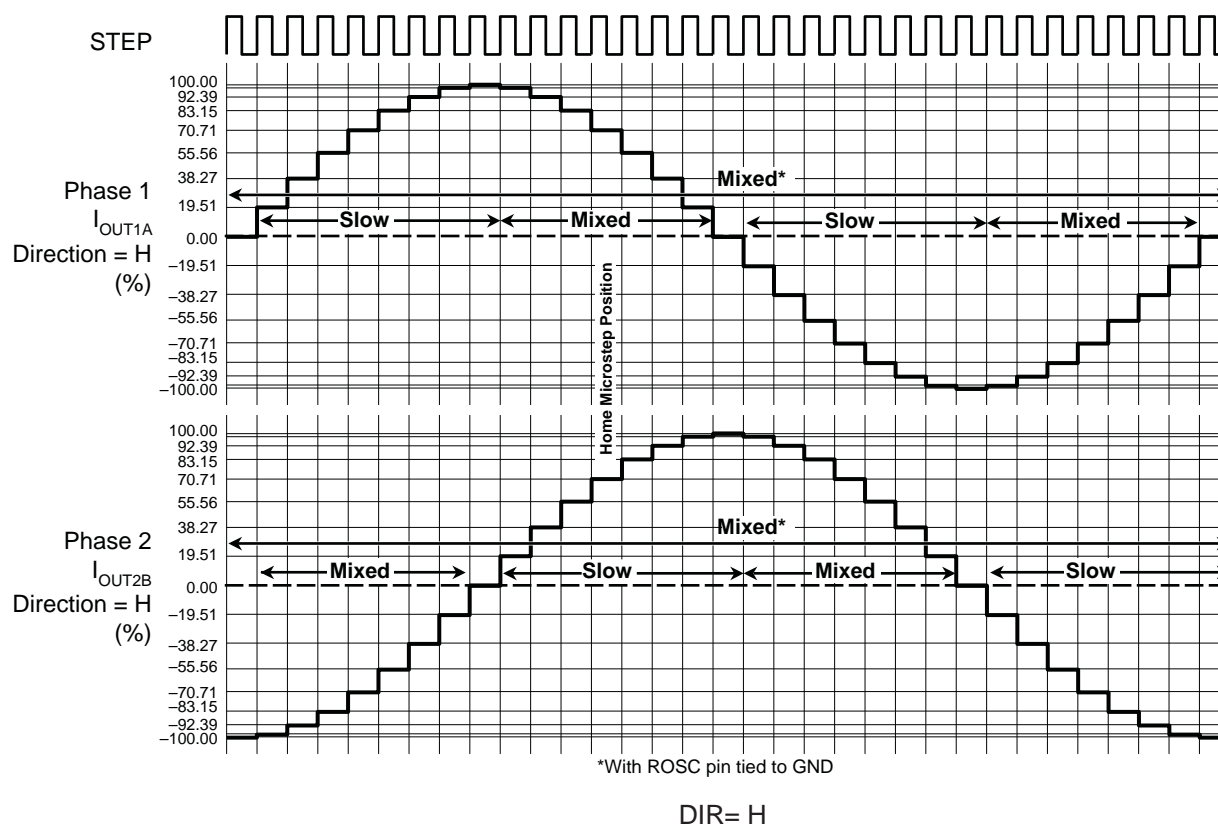


Figure 11. Decay Modes for Eighth-Step Increments

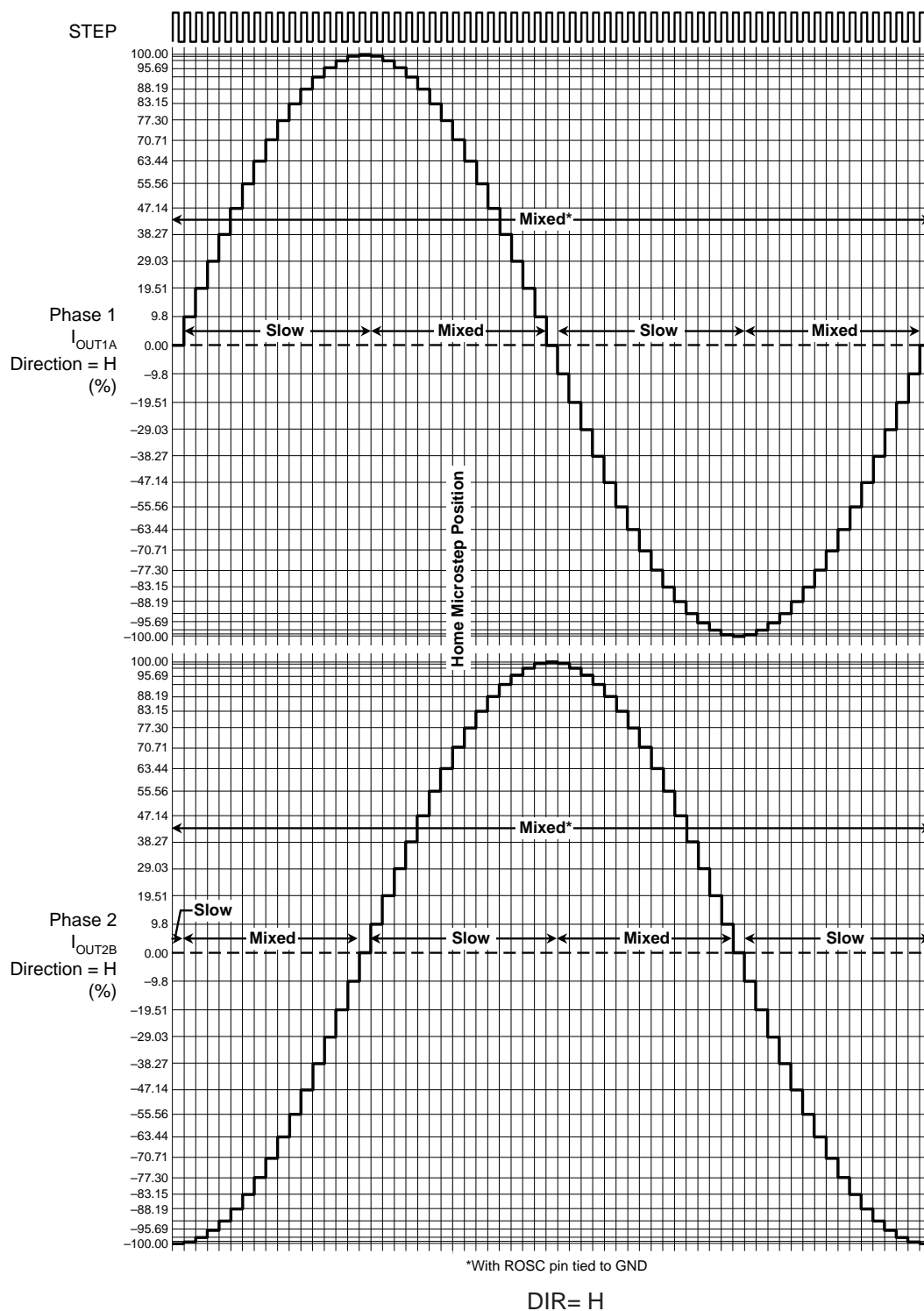


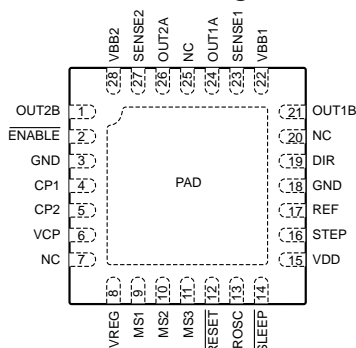
Figure 12. Decay Modes for Sixteenth-Step Increments

Table 2. Step Sequencing Settings

Home microstep position at Step Angle 45°; DIR = H

Full Step #	Half Step #	1/4 Step #	1/8 Step #	1/16 Step #	Phase 1 Current [% I _{tripMax}] (%)	Phase 2 Current [% I _{tripMax}] (%)	Step Angle (°)	Full Step #	Half Step #	1/4 Step #	1/8 Step #	1/16 Step #	Phase 1 Current [% I _{tripMax}] (%)	Phase 2 Current [% I _{tripMax}] (%)	Step Angle (°)
	1	1	2	1	100.00	0.00	0.0		5	9	17	33	-100.00	0.00	180.0
				2	99.52	9.80	5.6					34	-99.52	-9.80	185.6
			2	3	98.08	19.51	11.3				18	35	-98.08	-19.51	191.3
				4	95.69	29.03	16.9					36	-95.69	-29.03	196.9
		2	3	5	92.39	38.27	22.5			10	19	37	-92.39	-38.27	202.5
				6	88.19	47.14	28.1					38	-88.19	-47.14	208.1
			4	7	83.15	55.56	33.8				20	39	-83.15	-55.56	213.8
				8	77.30	63.44	39.4					40	-77.30	-63.44	219.4
1	2	3	5	9	70.71	70.71	45.0	3	6	11	21	41	-70.71	-70.71	225.0
				10	63.44	77.30	50.6					42	-63.44	-77.30	230.6
			6	11	55.56	83.15	56.3				22	43	-55.56	-83.15	236.3
				12	47.14	88.19	61.9					44	-47.14	-88.19	241.9
		4	7	13	38.27	92.39	67.5			12	23	45	-38.27	-92.39	247.5
				14	29.03	95.69	73.1					46	-29.03	-95.69	253.1
			8	15	19.51	98.08	78.8				24	47	-19.51	-98.08	258.8
				16	9.80	99.52	84.4					48	-9.80	-99.52	264.4
	3	5	9	17	0.00	100.00	90.0		7	13	25	49	0.00	-100.00	270.0
				18	-9.80	99.52	95.6					50	9.80	-99.52	275.6
			10	19	-19.51	98.08	101.3				26	51	19.51	-98.08	281.3
				20	-29.03	95.69	106.9					52	29.03	-95.69	286.9
		6	11	21	-38.27	92.39	112.5			14	27	53	38.27	-92.39	292.5
				22	-47.14	88.19	118.1					54	47.14	-88.19	298.1
			12	23	-55.56	83.15	123.8				28	55	55.56	-83.15	303.8
				24	-63.44	77.30	129.4					56	63.44	-77.30	309.4
2	4	7	13	25	-70.71	70.71	135.0	4	8	15	29	57	70.71	-70.71	315.0
				26	-77.30	63.44	140.6					58	77.30	-63.44	320.6
			14	27	-83.15	55.56	146.3				30	59	83.15	-55.56	326.3
				28	-88.19	47.14	151.9					60	88.19	-47.14	331.9
		8	15	29	-92.39	38.27	157.5			16	31	61	92.39	-38.27	337.5
				30	-95.69	29.03	163.1					62	95.69	-29.03	343.1
			16	31	-98.08	19.51	168.8				32	63	98.08	-19.51	348.8
				32	-99.52	9.80	174.4					64	99.52	-9.80	354.4

Pin-out Diagram

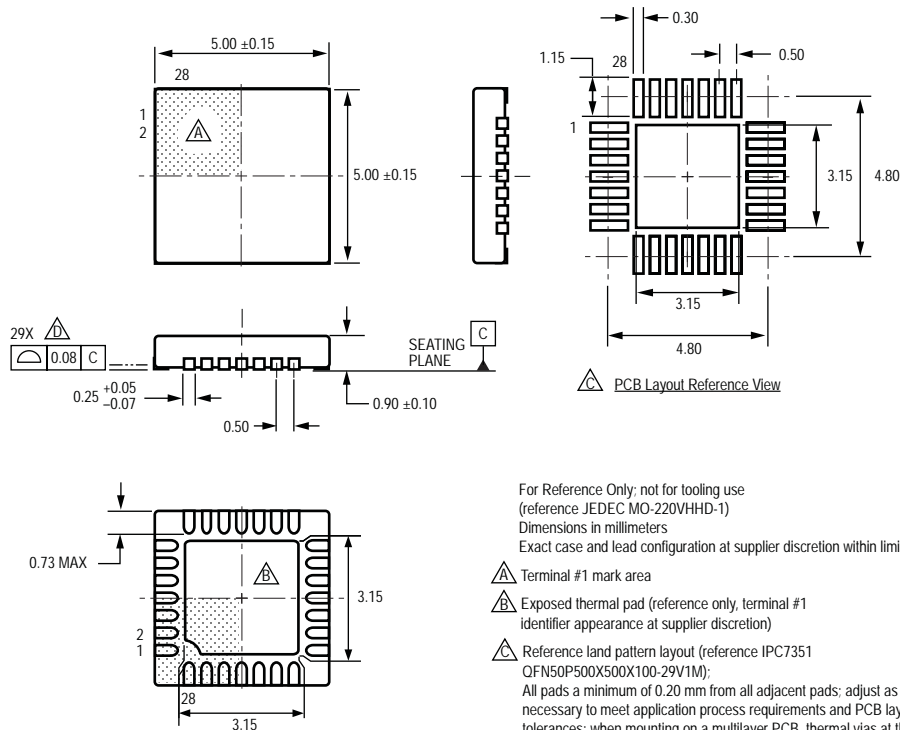


Terminal List Table

Name	Number	Description
CP1	4	Charge pump capacitor terminal
CP2	5	Charge pump capacitor terminal
VCP	6	Reservoir capacitor terminal
VREG	8	Regulator decoupling terminal
MS1	9	Logic input
MS2	10	Logic input
MS3	11	Logic input
RESET	12	Logic input
ROSC	13	Timing set
SLEEP	14	Logic input
VDD	15	Logic supply
STEP	16	Logic input
REF	17	G _m reference voltage input
GND	3, 18	Ground*
DIR	19	Logic input
OUT1B	21	DMOS Full Bridge 1 Output B
VBB1	22	Load supply
SENSE1	23	Sense resistor terminal for Bridge 1
OUT1A	24	DMOS Full Bridge 1 Output A
OUT2A	26	DMOS Full Bridge 2 Output A
SENSE2	27	Sense resistor terminal for Bridge 2
VBB2	28	Load supply
OUT2B	1	DMOS Full Bridge 2 Output B
ENABLE	2	Logic input
NC	7, 20, 25	No connection
PAD	–	Exposed pad for enhanced thermal dissipation*

*The GND pins must be tied together externally by connecting to the PAD ground plane under the device.

ET Package, 28-Pin QFN with Exposed Thermal Pad



Copyright ©2009-2010, Allegro MicroSystems, Inc.

The products described here are manufactured under one or more U.S. patents or U.S. patents pending.

Allegro MicroSystems, Inc. reserves the right to make, from time to time, such departures from the detail specifications as may be required to permit improvements in the performance, reliability, or manufacturability of its products. Before placing an order, the user is cautioned to verify that the information being relied upon is current.

Allegro's products are not to be used in life support devices or systems, if a failure of an Allegro product can reasonably be expected to cause the failure of that life support device or system, or to affect the safety or effectiveness of that device or system.

The information included herein is believed to be accurate and reliable. However, Allegro MicroSystems, Inc. assumes no responsibility for its use; nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use.

For the latest version of this document, visit our website:

www.allegromicro.com



NTC thermistors for temperature measurement

Glass-encapsulated sensors,
standard type

Series/Type: **B57540G, B57540G1**

The following products presented in this data sheet are being withdrawn.

Ordering Code	Substitute Product	Date of Withdrawal	Deadline Last Orders	Last Shipments
B57540G0145*	B57540G1104*	2012-03-23	2012-06-28	2012-09-28
B57540G0234*	B57540G1104*	2012-03-23	2012-06-28	2012-09-28

For further information please contact your nearest EPCOS sales office, which will also support you in selecting a suitable substitute. The addresses of our worldwide sales network are presented at www.epcos.com/sales.

Applications

- Temperature measurement

Features

- Glass-encapsulated, heat-resistive and highly stable
- For temperature measurement up to 250 °C
- Very short response time
- Small dimensions
- Leads: dumet wires (copper-clad FeNi)

Options

- Leads: nickel-plated dumet wires
- Alternative dimensions available on request

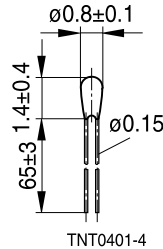
Delivery mode

Bulk

General technical data

Climatic category	(IEC 60068-1)		55/250/56	
Max. power	(at 25 °C)	P_{25}	18	mW
Resistance tolerance		$\Delta R_R/R_R$	$\pm 1, \pm 2, \pm 3$	%
Rated temperature		T_R	25	°C
Dissipation factor	(in air)	δ_{th}	approx. 0.4	mW/K
Thermal cooling time constant	(in air)	τ_c	approx. 3	s
Heat capacity		C_{th}	approx. 1.3	mJ/K

Dimensional drawing



TNT0401-4

Dimensions in mm

Electrical specification and ordering codes

R_{25} Ω	No. of R/T characteristic	$B_{25/85}$ K	$B_{0/100}$ K	$B_{25/100}$ K	Ordering code
5 k	8402	3480	$3450 \pm 1\%$	3497	B57540G0502+000
5 k	8402	3480	$3450 \pm 1\%$	3497	B57540G0502+002
10 k	7003	3612	3586	$3625 \pm 1\%$	B57540G1103+005
10 k	7003	3612	3586	$3625 \pm 1\%$	B57540G1103+007
10 k	8307	3478	3450	$3492 \pm 1\%$	B57540G1103+000
10 k	8307	3478	3450	$3492 \pm 1\%$	B57540G1103+002
20 k	8415	3992	$3970 \pm 1\%$	4006	B57540G0203+000
20 k	8415	3992	$3970 \pm 1\%$	4006	B57540G0203+002
30 k	7002	3973	3944	$3988 \pm 1\%$	B57540G1303+005
30 k	7002	3973	3944	$3988 \pm 1\%$	B57540G1303+007
50 k	8403	3992	$3970 \pm 1\%$	4006	B57540G0503+000
50 k	8403	3992	$3970 \pm 1\%$	4006	B57540G0503+002
100 k	8304	4072	4036	$4092 \pm 1\%$	B57540G1104+000
100 k	8304	4072	4036	$4092 \pm 1\%$	B57540G1104+002
230 k	8405	4240	$4537 \pm 2\%^{1)}$	4264	B57540G0234+000
230 k	8405	4240	$4537 \pm 2\%^{1)}$	4264	B57540G0234+002
1400 k	8406	4557	$5133 \pm 2\%^{2)}$	4581	B57540G0145+000
1400 k	8406	4557	$5133 \pm 2\%^{2)}$	4581	B57540G0145+002

+ = Resistance tolerance

F = $\pm 1\%$

G = $\pm 2\%$

H = $\pm 3\%$

The last three digits of the ordering code denote:

000 and 005 = dumet wires

002 and 007 = nickel-plated wires

1) $B_{100/200}$

2) $B_{200/300}$

Reliability data

Test	Standard	Test conditions	$\Delta R_{25}/R_{25}$ (typical)	Remarks
Storage in dry heat	IEC 60068-2-2	Storage at upper category temperature T: 250 °C t: 1000 h	< 3%	No visible damage
Storage in damp heat, steady state	IEC 60068-2-67	Temperature of air: 85 °C Relative humidity of air: 85% Duration: 56 days	< 2%	No visible damage
Rapid temperature cycling	IEC 60068-2-14	Lower test temperature: –55 °C Upper test temperature: 200 °C Number of cycles: 1000	< 2%	No visible damage

R/T characteristics

R/T No.	7002		7003		8304	
T (°C)	B _{25/100} = 3988 K		B _{25/100} = 3625 K		B _{25/100} = 4092 K	
	R _T /R ₂₅	α (%/K)	R _T /R ₂₅	α (%/K)	R _T /R ₂₅	α (%/K)
-55.0	96.33	7.4	63.225	6.7	100.11	7.4
-50.0	66.866	7.2	45.46	6.5	69.56	7.2
-45.0	47.037	6.9	33.07	6.3	48.945	6.9
-40.0	33.508	6.7	24.324	6.0	34.853	6.7
-35.0	24.156	6.4	18.081	5.8	25.102	6.5
-30.0	17.613	6.2	13.575	5.6	18.275	6.2
-25.0	12.98	6.0	10.29	5.4	13.443	6.0
-20.0	9.6643	5.8	7.8716	5.3	9.9853	5.9
-15.0	7.2656	5.6	6.0739	5.1	7.4867	5.7
-10.0	5.5129	5.4	4.7258	4.9	5.6636	5.5
-5.0	4.22	5.3	3.7062	4.8	4.3212	5.3
0.0	3.2575	5.1	2.9287	4.6	3.324	5.2
5.0	2.5348	4.9	2.3311	4.5	2.5769	5.0
10.0	1.9876	4.8	1.8684	4.4	2.0127	4.9
15.0	1.5699	4.6	1.5075	4.2	1.5834	4.7
20.0	1.2488	4.5	1.224	4.1	1.2542	4.6
25.0	1.0000	4.4	1.0000	4.0	1.0000	4.5
30.0	0.80594	4.3	0.82176	3.9	0.80239	4.3
35.0	0.65355	4.1	0.67909	3.8	0.64776	4.2
40.0	0.53312	4.0	0.56422	3.7	0.52598	4.1
45.0	0.43735	3.9	0.47122	3.6	0.4295	4.0
50.0	0.36074	3.8	0.3955	3.5	0.35262	3.9
55.0	0.29911	3.7	0.33355	3.4	0.291	3.8
60.0	0.24925	3.6	0.2826	3.3	0.24136	3.7
65.0	0.20872	3.5	0.24049	3.2	0.20114	3.6
70.0	0.17558	3.4	0.20553	3.1	0.16841	3.5
75.0	0.14837	3.3	0.17637	3.0	0.14164	3.4
80.0	0.12592	3.2	0.15195	2.9	0.11963	3.3
85.0	0.10731	3.2	0.13141	2.9	0.10147	3.3
90.0	0.091816	3.1	0.11406	2.8	0.086407	3.2
95.0	0.078862	3.0	0.099352	2.7	0.073867	3.1
100.0	0.067988	2.9	0.086837	2.7	0.063383	3.0
105.0	0.058824	2.9	0.076149	2.6	0.054584	3.0
110.0	0.051071	2.8	0.066989	2.5	0.04717	2.9
115.0	0.044489	2.7	0.059112	2.5	0.040901	2.8
120.0	0.03888	2.7	0.052316	2.4	0.035581	2.8
125.0	0.034084	2.6	0.046433	2.4	0.03105	2.7
130.0	0.02997	2.5	0.041327	2.3	0.027179	2.6
135.0	0.02643	2.5	0.03688	2.3	0.023861	2.6
140.0	0.023373	2.4	0.032998	2.2	0.021008	2.5
145.0	0.020727	2.4	0.029598	2.2	0.018548	2.5
150.0	0.018429	2.3	0.026612	2.1	0.016419	2.4
155.0	0.016427	2.3	0.023984	2.1	0.014573	2.4

R/T No.	7002		7003		8304	
T (°C)	B _{25/100} = 3988 K		B _{25/100} = 3625 K		B _{25/100} = 4092 K	
	R _T /R ₂₅	α (%/K)	R _T /R ₂₅	α (%/K)	R _T /R ₂₅	α (%/K)
160.0	0.014679	2.2	0.021665	2.0	0.012967	2.3
165.0	0.013149	2.2	0.019613	2.0	0.011566	2.3
170.0	0.011806	2.1	0.017793	1.9	0.010341	2.2
175.0	0.010623	2.1	0.016176	1.9	0.0092664	2.2
180.0	0.0095804	2.0	0.014735	1.8	0.0083224	2.1
185.0	0.0086582	2.0	0.013448	1.8	0.0074907	2.1
190.0	0.0078408	2.0	0.012297	1.8	0.0067564	2.0
195.0	0.0071148	1.9	0.011265	1.7	0.0061064	2.0
200.0	0.0064685	1.9	0.010338	1.7	0.0055299	2.0
205.0	0.005892	1.8	0.009504	1.7	0.0050175	1.9
210.0	0.0053767	1.8	0.0087516	1.6	0.0045611	1.9
215.0	0.0049152	1.8	0.0080718	1.6	0.0041537	1.9
220.0	0.0045011	1.7	0.0074567	1.6	0.0037895	1.8
225.0	0.0041287	1.7	0.0068989	1.5	0.0034631	1.8
230.0	0.0037934	1.7	0.0063925	1.5	0.0031701	1.8
235.0	0.0034908	1.6	0.0059318	1.5	0.0029067	1.7
240.0	0.0032173	1.6	0.005512	1.5	0.0026693	1.7
245.0	0.0029697	1.6	0.005129	1.4	0.0024551	1.7
250.0	0.0027451	1.6	0.004779	1.4	0.0022615	1.6
255.0	0.0025412	1.5	0.0044586	1.4	0.0020862	1.6
260.0	0.0023556	1.5	0.004165	1.4	0.0019273	1.6
265.0	0.0021865	1.5	0.0038955	1.3	0.0017829	1.5
270.0	0.0020323	1.5	0.0036478	1.3	0.0016516	1.5
275.0	0.0018913	1.4	0.0034199	1.3	0.0015319	1.5
280.0	0.0017623	1.4	0.0032098	1.3	0.0014228	1.5
285.0	0.0016441	1.4	0.003016	1.2	0.0013231	1.4
290.0	0.0015357	1.4	0.002837	1.2	0.0012319	1.4
295.0	0.001436	1.3	0.0026714	1.2	0.0011483	1.4
300.0	0.0013444	1.3	0.002518	1.2	0.0010716	1.4

R/T characteristics

R/T No.	8307		8402		8403	
T (°C)	B _{25/100} = 3492 K		B _{0/100} = 3450 K		B _{0/100} = 3970 K	
	R _T /R ₂₅	α (%/K)	R _T /R ₂₅	α (%/K)	R _T /R ₂₅	α (%/K)
-55.0	52.624	6.4	51.991	6.4	103.29	7.6
-50.0	38.452	6.2	37.989	6.2	71.079	7.3
-45.0	28.401	6.0	28.07	5.9	49.619	7.1
-40.0	21.194	5.8	20.96	5.7	35.108	6.8
-35.0	15.972	5.6	15.809	5.5	25.158	6.5
-30.0	12.149	5.4	12.037	5.4	18.245	6.3
-25.0	9.3246	5.2	9.2484	5.2	13.383	6.1
-20.0	7.2181	5.0	7.1668	5.0	9.9221	5.9
-15.0	5.6332	4.9	5.5993	4.9	7.4316	5.7
-10.0	4.4308	4.7	4.4087	4.7	5.6202	5.5
-5.0	3.5112	4.6	3.4971	4.6	4.2894	5.3
0.0	2.8024	4.4	2.7936	4.4	3.3024	5.2
5.0	2.252	4.3	2.2468	4.3	2.5607	5.0
10.0	1.8216	4.2	1.8187	4.2	2.0017	4.8
15.0	1.4827	4.1	1.4813	4.0	1.5768	4.7
20.0	1.2142	3.9	1.2136	3.9	1.2513	4.6
25.0	1.0000	3.8	1.0000	3.8	1.0000	4.4
30.0	0.82818	3.7	0.82845	3.7	0.80451	4.3
35.0	0.68954	3.6	0.68991	3.6	0.65139	4.2
40.0	0.57703	3.5	0.57742	3.5	0.53064	4.0
45.0	0.48525	3.4	0.4856	3.4	0.43481	3.9
50.0	0.41	3.3	0.41026	3.3	0.35828	3.8
55.0	0.34798	3.2	0.34816	3.2	0.29681	3.7
60.0	0.29663	3.2	0.29673	3.2	0.24715	3.6
65.0	0.25392	3.1	0.25393	3.1	0.20682	3.5
70.0	0.21824	3.0	0.21817	3.0	0.17389	3.4
75.0	0.1883	2.9	0.18816	2.9	0.14687	3.3
80.0	0.16307	2.8	0.16288	2.8	0.12459	3.2
85.0	0.14174	2.8	0.1415	2.8	0.10614	3.2
90.0	0.12362	2.7	0.12335	2.7	0.09078	3.1
95.0	0.10818	2.6	0.10788	2.6	0.077949	3.0
100.0	0.094973	2.6	0.094659	2.6	0.067183	2.9
105.0	0.08364	2.5	0.083313	2.5	0.058113	2.9
110.0	0.073881	2.5	0.073547	2.5	0.050443	2.8
115.0	0.06545	2.4	0.065114	2.4	0.043932	2.7
120.0	0.058144	2.3	0.05781	2.4	0.038386	2.7
125.0	0.051794	2.3	0.051464	2.3	0.033645	2.6
130.0	0.046259	2.2	0.045936	2.2	0.029579	2.5
135.0	0.04142	2.2	0.041106	2.2	0.02608	2.5
140.0	0.037179	2.1	0.036875	2.1	0.02306	2.4
145.0	0.033451	2.1	0.033159	2.1	0.020446	2.4
150.0	0.030166	2.0	0.029886	2.1	0.018176	2.3
155.0	0.027264	2.0	0.026998	2.0	0.016199	2.3

R/T No.	8307		8402		8403	
T (°C)	$B_{25/100} = 3492 \text{ K}$		$B_{0/100} = 3450 \text{ K}$		$B_{0/100} = 3970 \text{ K}$	
	R_T/R_{25}	$\alpha \text{ (%/K)}$	R_T/R_{25}	$\alpha \text{ (%/K)}$	R_T/R_{25}	$\alpha \text{ (%/K)}$
160.0	0.024694	2.0	0.024442	2.0	0.014473	2.2
165.0	0.022414	1.9	0.022175	1.9	0.012962	2.2
170.0	0.020385	1.9	0.02016	1.9	0.011636	2.1
175.0	0.018577	1.8	0.018365	1.8	0.010469	2.1
180.0	0.016961	1.8	0.016762	1.8	0.0094395	2.0
185.0	0.015514	1.8	0.015328	1.8	0.0085294	2.0
190.0	0.014216	1.7	0.014043	1.7	0.0077229	2.0
195.0	0.013049	1.7	0.012888	1.7	0.0070067	1.9
200.0	0.011999	1.7	0.011849	1.7	0.0063691	1.9
205.0	0.011051	1.6	0.010913	1.6	0.0058005	1.9
210.0	0.010194	1.6	0.010067	1.6	0.0052924	1.8
215.0	0.0094181	1.6	0.0093013	1.6	0.0048373	1.8
220.0	0.0087144	1.5	0.0086075	1.5	0.004429	1.7
225.0	0.0080751	1.5	0.0079777	1.5	0.004062	1.7
230.0	0.0074933	1.5	0.007405	1.5	0.0037315	1.7
235.0	0.0069631	1.5	0.0068833	1.4	0.0034333	1.6
240.0	0.0064791	1.4	0.0064075	1.4	0.0031639	1.6
245.0	0.0060366	1.4	0.0059728	1.4	0.00292	1.6
250.0	0.0056316	1.4	0.0055751	1.4	0.0026988	1.6
255.0	0.0052602	1.4	0.0052107	1.3	0.002498	1.5
260.0	0.0049193	1.3	0.0048764	1.3	0.0023153	1.5
265.0	0.0046059	1.3	0.0045692	1.3	0.0021489	1.5
270.0	0.0043173	1.3	0.0042866	1.3	0.0019971	1.5
275.0	0.0040514	1.3	0.0040263	1.2	0.0018584	1.4
280.0	0.003806	1.2	0.0037862	1.2	0.0017316	1.4
285.0	0.0035793	1.2	0.0035645	1.2	0.0016153	1.4
290.0	0.0033696	1.2	0.0033595	1.2	0.0015087	1.4
295.0	0.0031753	1.2	0.0031697	1.2	0.0014107	1.3
300.0	0.0029952	1.2	0.0029938	1.1	0.0013207	1.3

R/T characteristics

R/T No.	8405		8406		8415	
T (°C)	B _{100/200} = 4537 K		B _{200/300} = 5133 K		B _{0/100} = 3970 K	
	R _T /R ₂₅	α (%/K)	R _T /R ₂₅	α (%/K)	R _T /R ₂₅	α (%/K)
-55.0	122.12	7.8	183.3	8.5	103.29	7.6
-50.0	83.306	7.5	120.69	8.2	71.079	7.3
-45.0	57.62	7.2	80.721	7.9	49.619	7.1
-40.0	40.378	7.0	54.792	7.6	35.108	6.8
-35.0	28.647	6.7	37.713	7.3	25.158	6.5
-30.0	20.563	6.5	26.301	7.1	18.245	6.3
-25.0	14.925	6.3	18.571	6.8	13.383	6.1
-20.0	10.947	6.1	13.269	6.6	9.9221	5.9
-15.0	8.1101	5.9	9.5865	6.4	7.4316	5.7
-10.0	6.0655	5.7	6.9997	6.2	5.6202	5.5
-5.0	4.5776	5.5	5.1625	6.0	4.2894	5.3
0.0	3.4845	5.4	3.844	5.8	3.3024	5.2
5.0	2.6743	5.2	2.8884	5.6	2.5607	5.0
10.0	2.0686	5.1	2.1892	5.5	2.0017	4.8
15.0	1.6121	4.9	1.673	5.3	1.5768	4.7
20.0	1.2654	4.8	1.2886	5.1	1.2513	4.6
25.0	1.0000	4.6	1.0000	5.0	1.0000	4.4
30.0	0.79548	4.5	0.78164	4.9	0.80451	4.3
35.0	0.63677	4.4	0.61516	4.7	0.65139	4.2
40.0	0.51279	4.3	0.48734	4.6	0.53064	4.0
45.0	0.41534	4.2	0.38851	4.5	0.43481	3.9
50.0	0.33828	4.1	0.3116	4.4	0.35828	3.8
55.0	0.27698	3.9	0.25136	4.2	0.29681	3.7
60.0	0.22795	3.8	0.2039	4.1	0.24715	3.6
65.0	0.18853	3.7	0.16629	4.0	0.20682	3.5
70.0	0.15666	3.7	0.1363	3.9	0.17389	3.4
75.0	0.13077	3.6	0.11228	3.8	0.14687	3.3
80.0	0.10964	3.5	0.092932	3.7	0.12459	3.2
85.0	0.092319	3.4	0.077268	3.6	0.10614	3.2
90.0	0.078049	3.3	0.064527	3.6	0.09078	3.1
95.0	0.066244	3.2	0.054116	3.5	0.077949	3.0
100.0	0.056439	3.2	0.045571	3.4	0.067183	2.9
105.0	0.048262	3.1	0.038526	3.3	0.058113	2.9
110.0	0.041416	3.0	0.032694	3.2	0.050443	2.8
115.0	0.035663	3.0	0.027847	3.2	0.043932	2.7
120.0	0.030811	2.9	0.023803	3.1	0.038386	2.7
125.0	0.026705	2.8	0.020416	3.0	0.033645	2.6
130.0	0.023218	2.8	0.017569	3.0	0.029579	2.5
135.0	0.020247	2.7	0.015167	2.9	0.02608	2.5
140.0	0.017707	2.7	0.013135	2.8	0.02306	2.4
145.0	0.01553	2.6	0.011409	2.8	0.020446	2.4
150.0	0.013658	2.5	0.0099385	2.7	0.018176	2.3
155.0	0.012043	2.5	0.0086821	2.7	0.016199	2.3

R/T No.	8405		8406		8415	
T (°C)	$B_{100/200} = 4537 \text{ K}$		$B_{200/300} = 5133 \text{ K}$		$B_{0/100} = 3970 \text{ K}$	
	R_T/R_{25}	$\alpha \text{ (%/K)}$	R_T/R_{25}	$\alpha \text{ (%/K)}$	R_T/R_{25}	$\alpha \text{ (%/K)}$
160.0	0.010647	2.4	0.0076052	2.6	0.014473	2.2
165.0	0.009436	2.4	0.0066796	2.6	0.012962	2.2
170.0	0.0083831	2.3	0.0058817	2.5	0.011636	2.1
175.0	0.0074652	2.3	0.005192	2.5	0.010469	2.1
180.0	0.006663	2.3	0.0045943	2.4	0.0094395	2.0
185.0	0.0059602	2.2	0.0040749	2.4	0.0085294	2.0
190.0	0.0053431	2.2	0.0036225	2.3	0.0077229	2.0
195.0	0.0047999	2.1	0.0032274	2.3	0.0070067	1.9
200.0	0.0043208	2.1	0.0028817	2.2	0.0063691	1.9
205.0	0.0038972	2.0	0.0025783	2.2	0.0058005	1.9
210.0	0.0035219	2.0	0.0023116	2.2	0.0052924	1.8
215.0	0.0031888	2.0	0.0020766	2.1	0.0048373	1.8
220.0	0.0028925	1.9	0.0018691	2.1	0.004429	1.7
225.0	0.0026284	1.9	0.0016854	2.0	0.004062	1.7
230.0	0.0023925	1.9	0.0015226	2.0	0.0037315	1.7
235.0	0.0021816	1.8	0.001378	2.0	0.0034333	1.6
240.0	0.0019925	1.8	0.0012492	1.9	0.0031639	1.6
245.0	0.0018227	1.8	0.0011344	1.9	0.00292	1.6
250.0	0.00167	1.7	0.0010318	1.9	0.0026988	1.6
255.0	0.0015324	1.7	0.00094005	1.8	0.002498	1.5
260.0	0.0014083	1.7	0.00085777	1.8	0.0023153	1.5
265.0	0.0012961	1.6	0.00078388	1.8	0.0021489	1.5
270.0	0.0011946	1.6	0.00071742	1.8	0.0019971	1.5
275.0	0.0011025	1.6	0.00065754	1.7	0.0018584	1.4
280.0	0.0010189	1.6	0.00060352	1.7	0.0017316	1.4
285.0	0.00094294	1.5	0.0005547	1.7	0.0016153	1.4
290.0	0.00087373	1.5	0.00051051	1.6	0.0015087	1.4
295.0	0.00081063	1.5	0.00047047	1.6	0.0014107	1.3
300.0	0.00075301	1.5	0.00043412	1.6	0.0013207	1.3

Mounting instructions

1 Soldering

1.1 Leaded NTC thermistors

Leaded thermistors comply with the solderability requirements specified by CECC.

When soldering, care must be taken that the NTC thermistors are not damaged by excessive heat. The following maximum temperatures, maximum time spans and minimum distances have to be observed:

	<i>Dip soldering</i>	<i>Iron soldering</i>
Bath temperature	max. 260 °C	max. 360 °C
Soldering time	max. 4 s	max. 2 s
Distance from thermistor	min. 6 mm	min. 6 mm

Under more severe soldering conditions the resistance may change.

1.2 Leadless NTC thermistors

In case of NTC thermistors without leads, soldering is restricted to devices which are provided with a solderable metallization. The temperature shock caused by the application of hot solder may produce fine cracks in the ceramic, resulting in changes in resistance.

To prevent leaching of the metallization, solder with silver additives or with a low tin content should be used. In addition, soldering methods should be employed which permit short soldering times.

2 Clamp contacting

Pressure contacting by means of clamps is particularly suitable for applications involving frequent switching and high turn-on powers.

3 Robustness of terminations (leaded types)

The leads meet the requirements of IEC 60068-2-21. They may not be bent closer than 4 mm from the solder joint on the thermistor body or from the point at which they leave the feed-throughs. During bending, any mechanical stress at the outlet of the leads must be removed. The bending radius should be at least 0.75 mm.

Tensile strength: Test Ua1:

Leads	$\varnothing \leq 0.25 \text{ mm}$	=	1.0 N
	$0.25 < \varnothing \leq 0.35 \text{ mm}$	=	2.5 N
	$0.35 < \varnothing \leq 0.50 \text{ mm}$	=	5.0 N
	$0.50 < \varnothing \leq 0.80 \text{ mm}$	=	10.0 N
	$0.80 < \varnothing \leq 1.25 \text{ mm}$	=	20.0 N

Bending strength: Test Ub:

Two 90°-bends in opposite directions at a weight of 0.25 kg.

Torsional strength: Test Uc: severity 2

The lead is bent by 90° at a distance of 6 to 6.5 mm from the thermistor body.

The bending radius of the leads should be approx. 0.75 mm. Two torsions of 180° each (severity 2).

When subjecting leads to mechanical stress, the following should be observed:

Tensile stress on leads

During mounting and operation tensile forces on the leads are to be avoided.

Bending of leads

Bending of the leads directly on the thermistor body is not permissible.

A lead may be bent at a minimum distance of twice the wire's diameter +2 mm from the solder joint on the thermistor body. During bending the wire must be mechanically relieved at its outlet. The bending radius should be at least 0.75 mm.

Twisting of leads

The twisting (torsion) by 180° of a lead bent by 90° is permissible at 6 mm from the bottom of the thermistor body.

4 Sealing and potting

When thermistors are sealed, potted or overmolded, there must be no mechanical stress caused by thermal expansion during the production process (curing / overmolding process) and during later operation. The upper category temperature of the thermistor must not be exceeded. Ensure that the materials used (sealing / potting compound and plastic material) are chemically neutral.

5 Cleaning

If cleaning is necessary, mild cleaning agents such as ethyl alcohol and cleaning gasoline are recommended. Cleaning agents based on water are not allowed. Ultrasonic cleaning methods are permissible.

6 Storage

In order to maintain their solderability, thermistors must be stored in a non-corrosive atmosphere. Humidity, temperature and container materials are critical factors.

Do not store SMDs where they are exposed to heat or direct sunlight. Otherwise, the packing material may be deformed or SMDs may stick together, causing problems during mounting. After opening the factory seals, such as polyvinyl-sealed packages, use the SMDs as soon as possible.

The components should be left in the original packing. Touching the metallization of unsoldered thermistors may change their soldering properties.

Storage temperature: –25 °C up to 45 °C

Relative humidity (without condensation): ≤75% annual mean

<95%, maximum 30 days per annum

Solder the thermistors listed in this data book after shipment from EPCOS within the time specified:

SMDs: 12 months

Leaded components: 24 months

Cautions and warnings General

See "Important notes" at the end of this document.

Storage

- Store thermistors only in original packaging. Do not open the package prior to storage.
- Storage conditions in original packaging: storage temperature $-25\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +45\text{ }^{\circ}\text{C}$, relative humidity $\leq 75\%$ annual mean, $< 95\%$ maximum 30 days per annum, dew precipitation is inadmissible.
- Do not store thermistors where they are exposed to heat or direct sunlight. Otherwise, the packing material may be deformed or components may stick together, causing problems during mounting.
- Avoid contamination of thermistor surface during storage, handling and processing.
- Avoid storage of thermistors in harmful environments like corrosive gases (SO_x , Cl etc).
- Use the components as soon as possible after opening the factory seals, i.e. the polyvinyl-sealed packages.
- Solder thermistors within the time specified after shipment from EPCOS.
For leaded components this is 24 months, for SMDs 12 months.

Handling

- NTC thermistors must not be dropped. Chip-offs or any other damage must not be caused during handling of NTCs.
- Do not touch components with bare hands. Gloves are recommended.
- Avoid contamination of thermistor surface during handling.

Bending / twisting leads

- A lead (wire) may be bent at a minimum distance of twice the wire's diameter plus 4 mm from the component head or housing. When bending ensure the wire is mechanically relieved at the component head or housing. The bending radius should be at least 0.75 mm.
- Twisting (torsion) by 180° of a lead bent by 90° is permissible at 6 mm from the bottom of the thermistor body.

Soldering

- Use resin-type flux or non-activated flux.
- Insufficient preheating may cause ceramic cracks.
- Rapid cooling by dipping in solvent is not recommended.
- Complete removal of flux is recommended.

Mounting

- Ensure that no thermo-mechanical stress occurs due to production processes (curing or overmolding processes) when thermistors are sealed, potted or overmolded or during their subsequent operation. The maximum temperature of the thermistor must not be exceeded. Ensure that the materials used (sealing/potting compound and plastic material) are chemically neutral.
- Electrodes/contacts must not be scratched or damaged before/during/after the mounting process.
- Contacts and housing used for assembly with the thermistor must be clean before mounting.
- Ensure that adjacent materials are designed for operation at temperatures comparable to the surface temperature of the thermistor. Be sure that surrounding parts and materials can withstand the temperature.
- Avoid contamination of the thermistor surface during processing.
- The connections of sensors (e.g. cable end, wire end, plug terminal) may only be exposed to an environment with normal atmospheric conditions.
- Tensile forces on cables or leads must be avoided during mounting and operation.
- Bending or twisting of cables or leads directly on the thermistor body is not permissible.
- Avoid using chemical substances as mounting aids. It must be ensured that no water or other liquids enter the NTC thermistors (e.g. through plug terminals). In particular, water based substances (e.g. soap suds) must not be used as mounting aids for sensors.

Operation

- Use thermistors only within the specified operating temperature range.
- Use thermistors only within the specified power range.
- Environmental conditions must not harm the thermistors. Only use the thermistors under normal atmospheric conditions or within the specified conditions.
- Contact of NTC thermistors with any liquids and solvents should be prevented. It must be ensured that no water enters the NTC thermistors (e.g. through plug terminals). For measurement purposes (checking the specified resistance vs. temperature), the component must not be immersed in water but in suitable liquids (e.g. Galden).
- Avoid dewing and condensation unless thermistor is specified for these conditions.
- Bending or twisting of cables and/or wires is not permissible during operation of the sensor in the application.
- Be sure to provide an appropriate fail-safe function to prevent secondary product damage caused by malfunction.

This listing does not claim to be complete, but merely reflects the experience of EPCOS AG.

Symbols and terms

Symbol	English	German
A	Area	Fläche
AWG	American Wire Gauge	Amerikanische Norm für Drahtquerschnitte
B	B value	B-Wert
B _{25/100}	B value determined by resistance measurement at 25 °C and 100 °C	B-Wert, ermittelt durch Widerstandsmessungen bei 25 °C und 100 °C
C _{th}	Heat capacitance	Wärmekapazität
I	Current	Strom
N	Number (integer)	Anzahl (ganzzahliger Wert)
P ₂₅	Maximum power at 25 °C	Maximale Leistung bei 25 °C
P _{diss}	Power dissipation	Verlustleistung
P _{el}	Electrical power	Elektrische Leistung
P _{max}	Maximum power within stated temperature range	Maximale Leistung im angegebenen Temperaturbereich
ΔR _B /R _B	Resistance tolerance caused by spread of B value	Widerstandstoleranz, die durch die Streuung des B-Wertes verursacht wird
R _{ins}	Insulation resistance	Isolationswiderstand
R _p	Parallel resistance	Parallelwiderstand
R _R	Rated resistance	Nennwiderstand
ΔR _R /R _R	Resistance tolerance	Widerstandstoleranz
R _S	Series resistance	Serienwiderstand
R _T	Resistance at temperature T (e.g. R ₂₅ = resistance at 25 °C)	Widerstand bei Temperatur T (z.B. R ₂₅ = Widerstand bei 25 °C)
T	Temperature	Temperatur
ΔT	Temperature tolerance	Temperaturtoleranz
t	Time	Zeit
T _A	Ambient temperature	Umgebungstemperatur
T _{max}	Upper category temperature	Obere Grenztemperatur (Kategorietemperatur)
T _{min}	Lower category temperature	Untere Grenztemperatur (Kategorietemperatur)
T _{op}	Operating temperature	Betriebstemperatur
T _R	Rated temperature	Nenntemperatur
T _{surf}	Surface temperature	Oberflächentemperatur
V	Voltage	Spannung
V _{ins}	Insulation test voltage	Isolationsprüfspannung
V _{op}	Operating voltage	Betriebsspannung
V _{test}	Test voltage	Prüfspannung

Symbol	English	German
α	Temperature coefficient	Temperaturkoeffizient
Δ	Tolerance, change	Toleranz, Änderung
δ_{th}	Dissipation factor	Wärmeleitwert
τ_c	Thermal cooling time constant	Thermische Abkühlzeitkonstante
τ_a	Thermal time constant	Thermische Zeitkonstante

Abbreviations / Notes

Symbol	English	German
<u>SMD</u>	Surface-mounted devices	Oberflächenmontierbares Bauelement
*	To be replaced by a number in ordering codes, type designations etc.	Platzhalter für Zahl im Bestellnummern-code oder für die Typenbezeichnung.
+	To be replaced by a letter. All dimensions are given in mm. The commas used in numerical values denote decimal points.	Platzhalter für einen Buchstaben. Alle Maße sind in mm angegeben. Verwendete Kommas in Zahlenwerten bezeichnen Dezimalpunkte.

Important notes

The following applies to all products named in this publication:

1. Some parts of this publication contain **statements about the suitability of our products for certain areas of application**. These statements are based on our knowledge of typical requirements that are often placed on our products in the areas of application concerned. We nevertheless expressly point out **that such statements cannot be regarded as binding statements about the suitability of our products for a particular customer application**. As a rule, EPCOS is either unfamiliar with individual customer applications or less familiar with them than the customers themselves. For these reasons, it is always ultimately incumbent on the customer to check and decide whether an EPCOS product with the properties described in the product specification is suitable for use in a particular customer application.
2. We also point out that **in individual cases, a malfunction of electronic components or failure before the end of their usual service life cannot be completely ruled out in the current state of the art, even if they are operated as specified**. In customer applications requiring a very high level of operational safety and especially in customer applications in which the malfunction or failure of an electronic component could endanger human life or health (e.g. in accident prevention or lifesaving systems), it must therefore be ensured by means of suitable design of the customer application or other action taken by the customer (e.g. installation of protective circuitry or redundancy) that no injury or damage is sustained by third parties in the event of malfunction or failure of an electronic component.
3. **The warnings, cautions and product-specific notes must be observed.**
4. In order to satisfy certain technical requirements, **some of the products described in this publication may contain substances subject to restrictions in certain jurisdictions (e.g. because they are classed as hazardous)**. Useful information on this will be found in our Material Data Sheets on the Internet (www.epcos.com/material). Should you have any more detailed questions, please contact our sales offices.
5. We constantly strive to improve our products. Consequently, **the products described in this publication may change from time to time**. The same is true of the corresponding product specifications. Please check therefore to what extent product descriptions and specifications contained in this publication are still applicable before or when you place an order. We also **reserve the right to discontinue production and delivery of products**. Consequently, we cannot guarantee that all products named in this publication will always be available. The aforementioned does not apply in the case of individual agreements deviating from the foregoing for customer-specific products.
6. Unless otherwise agreed in individual contracts, **all orders are subject to the current version of the "General Terms of Delivery for Products and Services in the Electrical Industry" published by the German Electrical and Electronics Industry Association (ZVEI)**.
7. The trade names EPCOS, BAOKE, Alu-X, CeraDiode, CSMP, CSSP, CTVS, DSSP, MiniBlue, MKK, MLSC, MotorCap, PCC, PhaseCap, PhaseCube, PhaseMod, SIFERRIT, SIFI, SIKOREL, SilverCap, SIMDAD, SIMID, SineFormer, SIOV, SIP5D, SIP5K, ThermoFuse, WindCap are **trademarks registered or pending** in Europe and in other countries. Further information will be found on the Internet at www.epcos.com/trademarks.

Mouser Electronics

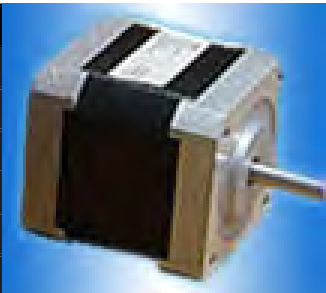
Authorized Distributor

Click to View Pricing, Inventory, Delivery & Lifecycle Information:

EPCOS:

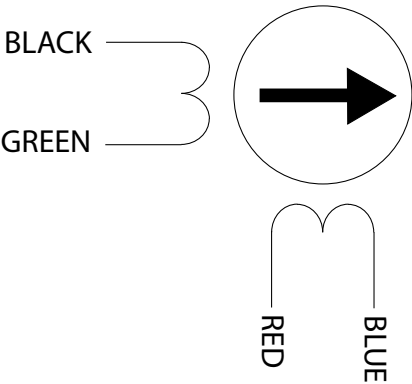
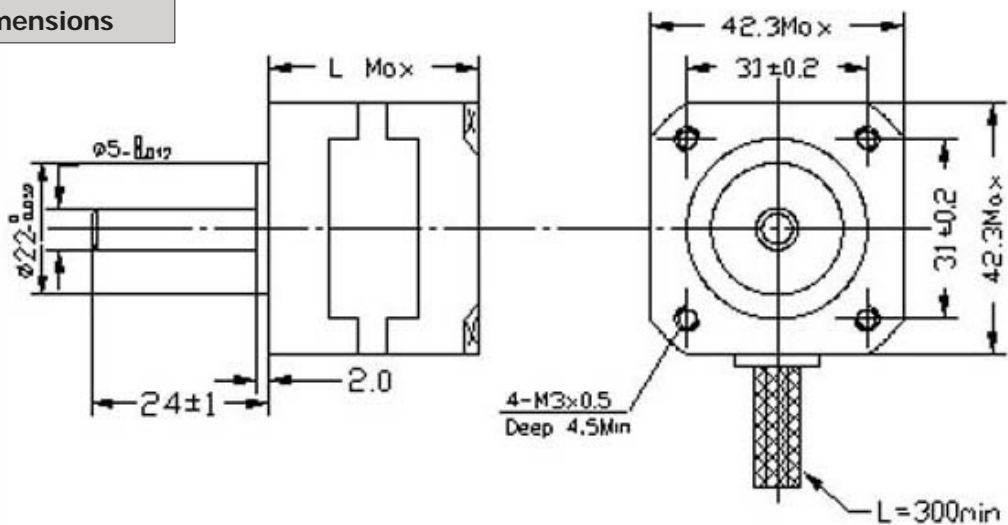
[B57540G104F](#) [B57540G303F](#) [B57540G502F](#) [B57540G503F](#) [B57540G0502F002](#) [B57540G0502H002](#)
[B57540G0502J002](#) [B57540G1103F000](#) [B57540G1103F005](#) [B57540G1103G000](#) [B57540G1103G005](#)
[B57540G1103H000](#) [B57540G1103H005](#) [B57540G1104F000](#) [B57540G1104G000](#) [B57540G1104H000](#)
[B57540G1303F000](#) [B57540G1303G000](#) [B57540G1303H000](#) [B57540G103H](#) [B57540G203F](#) [B57540G234F](#)
[B57540G1203F000](#) [B57540G1203G000](#) [B57540G1203H000](#) [B57540G503H](#) [B57540G203H](#) [B57540G303H](#)
[B57540G104H](#) [B57540G502H](#) [B57540G145J](#) [B57540G0104J002](#)

General Specifications	
Item	Specification
Step Accuracy	5%
Temperature Rise	80°C Max
Ambient Temperature	-20°C ~ +50°C
Insulation Resistance	100MΩ Min., 500VDC
Dielectric Strength	500 VAC for one minute



Electrical Specifications											
Model No.	Step Angle	Motor Length	Rated Voltage	Rated Current	Phase Resistance	Phase Inductance	Holding Torque	# of Leads	Rotor Inertia	Detent Torque	Weight
	°	mm	V	A	Ω	mH	g-cm		g-cm ²	g-cm	kg
42BYGHW811	1.8	48	3.1	2.5	1.25	1.8	4800	4	68	280	0.34

Mechanical Dimensions



KaptonTape.com

Technical Datasheet

5 Mil Kapton Tape RoHS Compliant

Description:

Kapton[®] Tape is made from DuPont[™] Kapton[®] HN general purpose film with silicon adhesive. It has been used in applications at temperatures as low as -269°C (-452°F) and as high as 400°C (752°F). Kapton[®] HN is the recommended choice for applications that require an all-polyimide film with an excellent balance of properties over a wide range of temperatures.

Product Features:

- Thin and conformable enabling masking of uneven surfaces
- Wide operating temperature range up to 500°F
- Removes cleanly without adhesive residue after exposure to heat
- High performance silicone adhesive
- High strength backing provides superior resistance to puncture and tear
- Resistance to chemical attack

Applications:

- High temperature masking
- Protection of circuit board gold finger contacts during wave solder
- Insulation on Transformers, Motors and Coils
- Fiber Optics Cables
- Solar Panels

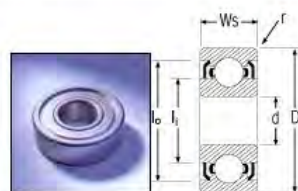
Kapton[®] is a trademark of Dupont[™]

Color	Amber	
Adhesion Type	Silicone	
Film Thickness	5 Mil	ASTM D 3652
Adhesive Thickness	1.5 Mil	
Total Thickness	6.5 Mil	
Adhesion to Steel	25 oz//inch	ASTM D 3330
Tensile Strength	98 (lbs/inch)	ASTM D 3759
Elongation	>50 %	ASTM D 3759
Dielectric Strength	18,000 volts	
UL-94 Flammability Rating	V-0	
Insulation Resistance	1,000,000 mega ohms	
Electrolytic Corrosion Factor	1	
Insulation Class, centigrade	180°C	
Temperature Resistance	260°C (500°F)	
Resistance to acids, oils, solvents	Excellent	
Length	36 yards	

Due to the variety of possible end-uses, it is ultimately the responsibility of the customer to determine a product's suitability for a particular application.

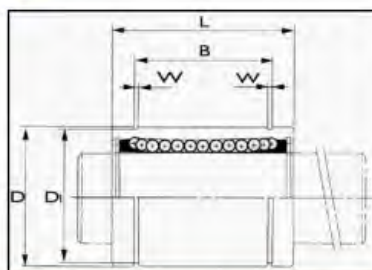
Online Catalog

- Miniature Ball Bearings
- Miniature Flanged Bearings
- Miniature Thrust Bearings
- Miniature Angular Contact Bearings
- Custom Miniature Bearings
- Application
- Part Interchange



	MR105zz
Bore Dia (d)	5mm
Outer Dia (D)	10mm
Width (B)	4mm
Bearing Type	Shielded or Seal and Open are available.
Material	52100 Chrome steel, <u>stainless steel</u> and <u>ceramic</u> are available.
Dynamic Load Rating (Cr) (Newtons)	366
Static Load Rating (Cor) (Newtons)	135
Max Speed (Grease) (X1000 RPM)	50
Max Speed (Oil) (X1000 RPM)	60
Ball Qty	8
Ball Dia (Dw)	1.2000mm
Weight (g) (grams)	1.26
Note	ABEC Grades 1, 3, 5, 7, and 9 are available. Also, the equivalent ISO classes.

LME



PART	d	D	L	B	W	Circuits	C(kgf)	Co (kgf)	Weight (g)
LME 8 UU	8	16	25	16.5	1.1	4	27	41	20
LME 12 UU	12	22	32	22.9	1.3	4	52	79	41
LME 16 UU	16	26	36	24.9	1.3	5	59	91	65
LME 20 UU	20	32	45	31.5	1.6	5	88	140	91
LME 25 UU	25	40	58	44.1	1.8	6	100	160	215
LME 30 UU	30	47	68	52.1	1.8	6	160	280	325
LME 40 UU	40	62	80	60.6	2.1	6	220	410	705
LME 50 UU	50	75	100	77.6	2.6	6	390	810	1130
LME 60 UU	60	90	125	101.7	3.1	6	480	1020	2220

EURO-BEARINGS LTD

